Aus der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Die Entwicklung des Elektrokardiogramms bei Katzenwelpen vom ersten bis zum siebzigsten Lebenstag

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Birgit-Evelyn Pagel
Tierärztin aus Berlin
Berlin 1985

Journal-Nr. 1172

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549615_0066

Aus der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Die Entwicklung des Elektrokardiogramms bei Katzenwelpen vom ersten bis zum siebzigsten Lebenstag

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Birgit-Evelyn Pagel
Tierärztin aus Berlin

Berlin 1985

Journal Nr. 1172

Gedruckt mit Genehmigung

des Fachbereiches Veterinärmedizin

der Freien Universität Berlin

Fachbereichssprecher:	Prof. Dr. F. Hörchner
Referent:	Prof. Dr. E. Trautvetter
Korreferent:	Prof. Dr. G. v. Mickwitz

Tag der Promotion: 22. Februar 1985

1	EINLEITUNG	Seite 5
2	LITERATUR	6
2,1	Elektrokardiographische Untersuchungen	6
2,2	Ableittechnik	8
2,3	Vektoren	10
2,4	Herzschlagfrequenzen	12
2,5	Morphologische Untersuchungen	13
3	MATERIAL UND METHODE	15
3,1	Untersuchungsmaterial	15
3,2	Registriergeräte	15
3,3	Ableittechnik und Ableitpunkte	15
3,4	Ausmessung und Vektorkonstruktion	16
3,5	Morphologische Untersuchungen	17
4	ERGEBNISSE	20
4,1	Elektrokardiographische Untersuchungen an Katzenwelpen von der Geburt bis zum 70. Lebenstag	20
4,1,1	Herzschlagfrequenzen	20
4,1,2	Intervalle	23
4,1,3	Entwicklung des QRS-Komplexes	23
4,1,4	Vektorielle Deutung	24
4,2	Morphologische Untersuchungen	43
5	DISKUSSION	47
5,1	Elektrokardiographische Untersuchungen	47
5,1,1	Herzschlagfrequenzen	47
5,1,2	Intervalle	48
5,1,3	Ableittechnik	49
5,1,4	Vektorielle Deutung	49
5,2	Morphologische Untersuchungen	50
6	ZUSAMMENFASSUNG	52
7	SUMMARY	53
8	LITERATURVERZEICHNIS	54

1. Einleitung

In der veterinärmedizinischen Literatur finden sich relativ wenig systematische EKG-Untersuchungen an Katzen, die im Hinblick auf die klinisch-diagnostische Arbeit Aussagekraft haben.
Die Zunahme der Rassekatzenzucht und der Katzenhaltung allgemein sowie die experimentelle Bedeutung der Katze als Versuchstier erfordern jedoch gesicherte Kenntnisse über das normale und pathologische Katzenelektrokardiogramm. Wie groß der Bedarf an exakten klinischen Basisinformationen ist und in Zukunft sein wird, sieht man am prozentualen Zuwachs dieser Tierart in einer Klinikpopulation. Bei den Patienten der Klinik für kleine Haustiere an der Freien Universität Berlin hat der Anteil der Katzen deutlich zugenommen; waren es im Jahr 1968 nur 5,4 % Katzen, so gehörten 1978 19,5 % aller in diesem Jahr behandelten Tiere zu den Feliden. Bereits 1966 konstatierte Brummer eine Änderung in der Einstellung zur Katze als Haustier, ohne daß zu diesem Zeitpunkt eine deutliche Zunahme in der Katzenhaltung zu verzeichnen war.

In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, inwieweit die postnatale physiologische Rechtshypertrophie des Herzmuskels - wie für andere Tierarten beschrieben - auch bei der Katze anzutreffen und im EKG nachzuweisen ist. Dabei war das Ziel der Untersuchung, die Entwicklung des EKG's in dieser Lebensphase zu erfassen, d. h., den Wechsel von der physiologischen Rechtshypertrophie zum normal links orientierten Kammerkomplex zu registrieren und festzustellen, inwieweit die Vektorenwanderung zeitlich mit einer Änderung des Muskelmassenverhältnisses zwischen linker und rechter Kammer einhergeht.

2. Literatur

Herzerkrankungen werden bei der Katze wesentlich seltener angetroffen als beim Hund.
Liu et al. (1970) stellten bei 45000 untersuchten Katzen nur 129 Herzkrankheiten mit Insuffizienzerscheinungen fest. Davon hatten 22 Katzen angeborene Herzmißbildungen. Während der prozentuale Anteil klinisch herzkranker Katzen nach diesen Untersuchungen also deutlich unter einem Prozent liegt, gibt Sasum (1973) 10 Prozent des Patientenmaterials bei Hunden als herzkrank an.
Nach Tilley (1978) sind 95 % aller erworbenen Herzerkrankungen bei der Katze Kardiomyopathien.
Angeborene Herzfehler werden bei der Katze klinisch oft nicht erkannt. Am häufigsten treten der Ventrikel-Septum-Defekt, der persistierende rechte Aortenbogen, der persistierende Ductus Arteriosus, Pulmonal- oder Aortenstenosen und die Fallot'sche Tetralogie auf (Christoph, 1963).

2,1 Elektrokardiographische Untersuchungen

Einige Autoren haben sich mit den Normalwerten des Katzenelektrokardiogramms an unbeeinflußten und anaesthesierten Tieren beschäftigt.
Hamlin et al. (1963) haben das Elektrokardiogramm und Phonokardiogramm von 12 erwachsenen anaesthesierten Hauskatzen untersucht. Die anatomischen Verhältnisse am Herzen und die Erregungsausbreitung entsprechen danach weitgehend den Verhältnissen beim Hund.
Die Schlagfrequenzen liegen zwischen 90 und 245 Schlägen pro Minute bei einem Mittelwert von 140.
Die EKG-Intervalle weisen durchschnittliche Werte von 0,08 für PQ, 0,04 für QRS sowie 0,24 für QT auf, während die elektrische Herzachse stärker als beim Hund variiert.
Die EKG-Registrierung erfolgt nach der für den Hund standardisierten Methode (Hahn et al., 1977).
Robertson und Ewell (1976) führen ihre Untersuchung an 113 unsedierten gesunden Hauskatzen durch.

Die Tiere wurden routinemäßig klinisch untersucht und auf mögliche Herzgeräusche auskultiert. Die untersuchten Tiere weisen eine mittlere Schlagfrequenz von 180 Schlägen pro Minute auf, die Intervalle für PQ liegen im Schnitt bei 0,08, für QRS bei 0,04 und für QT bei 0,14 sec.
Beide Untersuchergruppen fanden ähnliche Werte für die mittlere Schlagfrequenz und die Überleitungszeit. Die "elektrische Systole" (QT) erscheint dagegen bei Robertson und Ewell mit 0,14 sec. relativ kurz im Vergleich zu 0,24 sec. bei Hamlin et al. (1963).
Beglinger et al. (1977b) haben Untersuchungen über EKG, Herzschlagfrequenz und Blutdruck der Hauskatze durchgeführt. Sie haben den mit Zwangsmaßnahmen erreichten unphysiologisch hohen Daten (sog. Pseudoruhewerte) die realen Ruhewerte mittels telemetrischer EKG-Registrierung gegenübergestellt. Zur Messung der Pseudo-Ruhewerte wurden die Tiere auf dem Untersuchungstisch festgehalten, während sie sich bei den telemetrisch ermittelten Werten ohne Beobachter im gewohnten Käfig aufhielten. Die Schlagfrequenz bei den Pseudo-Ruhewerten liegt bei 180 Schlägen pro Minute, bei den realen Ruhewerten bei 129 Schlägen pro Minute.
Beglinger und Mitarbeiter (1977a) haben auch die Wirkung der Ketamin-Acepromazin-Anaesthesie auf Atmung und Kreislauf der Katze untersucht. Ketamin und Acepromazin senken die Atem- und erhöhen die Herzschlagfrequenz. Die QT-Dauer verlängert sich nicht.
Bohn (1977) hat Elektrokardiogramme an gesunden, anaesthesierten Hauskatzen im Alter von 5 Monaten bis 9 Jahren registriert. Hierzu hat er die Katzen mit einer Kombination aus Sauerstoff-Lachgas-Methoxyfluran und Ketamin-Atropin anaesthesiert.
Von 87 untersuchten Katzen zeigten 49 keine Arrhythmie, 38 Tiere unterschiedliche Arrhythmien.
Derselbe Autor (1979) kontrollierte die Herzaktionen bei anaesthesierten Hunden und Katzen. Er kombinierte Inhalationsanaesthetika (Methoxyfluran, Halothan, Lachgas)

mit injizierbaren Anaesthesiemitteln (Hypnorm, Surital bei Hunden; Ketamin bei Katzen) und prämedizierte mit Atropin. Die Katze zeigte sich dabei empfindlicher für das Entstehen von Arrhythmien während der Anaesthesie als andere Tierarten. Hauptsächlich traten gekoppelte ventrikuläre Extrasystolen im Bigeminusrhythmus im Initialstadium der Anaesthesie auf.

2,2 Ableittechnik

Am häufigsten wurden die Elektrokardiogramme in rechter Seitenlage, die Vorderextremitäten im rechten Winkel zur Körperlängsachse registriert.
Gompf und Tilley (1979) haben die seitliche Lage und die Brust-Bauchlage bei der Katze verglichen. Dafür wurden sedierte und unsedierte Tiere untersucht.
Sie empfehlen die Brust-Bauchlage, da sie von Katzen leichter toleriert wird.
Auch bei anderen Tierarten wurden die Problematik der standardisierten Ableittechnik und damit Vergleichsmöglichkeiten besprochen.
Nach Kronberger (1968) erschweren die schlechte Beschreibbarkeit eines Punktes auf der Körperoberfläche des Schweins und die leichte Verschiebbarkeit der Haut von Rind und Pferd die konstante Festlegung von Ableitpunkten. Relativ sicher erscheinen daher die Gliedmaßenableitungen, dabei ist auf die stets gleiche Stellung der Extremitäten im Verhältnis zum Rumpf zu achten.
Gonin (1962) beschreibt die Haltung der Vorderextremitäten und die daraus folgende Beeinflussung der elektrischen Herzachse beim Hund. Bei nach vorn gezogenen Vorderpfoten wird die Herzachse steiler, der Durchschnitt der Rechtsverschiebung beträgt 10°, das Maximum 25°.
Auch Hill (1968a, b) untersuchte die Änderung der elektrischen Herzachse bei Änderung der Position der Vorderextremitäten. Die unsedierten Hunde liegen in rechter Seitenlage, der Hals ist gestreckt, die Extremitäten sind im rechten Winkel zur Längsachse des Körpers gelagert. Bei Änderung der Position der Vorder-

extremitäten kommt es zur Änderung des QRS-Komplexes und damit der elektrischen Herzachse.
Rippa und Hulin (1969) beschreiben die Ursachen der Formänderung der EKG-Kurve beim Hund bei verschiedener Lagerung der Vorderextremitäten. Sie stellen fest, daß die Lagerung der hinteren Extremitäten keinen Einfluß auf den Kurvenverlauf ausübt.
Nach Werner et al. (1972 a, b) sind die Ausschlaghöhen nur bei gleicher Haltung von Vorderbeinen und Hals-Kopf reproduzierbar. Die standardisierten Haltungen sind Brust-Bauchlage und rechte Seitenlage, d. h. Vorderbeine senkrecht zur Wirbelsäule und Kopf und Hals gestreckt.
Nörr (1922) hat mit Salzlösung gefüllte Gefäße oder befeuchtete Bandagen benutzt. Als Ableitpunkte nahm er die Extremitäten, rechtes Vorderbein gegen linkes Hinterbein, sowie die Regio apis und die rechte Vorderbrust.
Lautenschläger (1928) benutzte bei seinen elektrokardiographischen Untersuchungen beim Pferd und Rind Nadelelektroden in rechter Seitenlage. Auch Lannek (1949) führte seine Untersuchungen beim Pferd mit Nadelelektroden durch.
Werner et al. (1972 a) nahmen Krokodilklemmen.
Auch Ettinger und Suter (1970) empfehlen Krokodilklemmen auf Bananensteckern, um einen niedrigen Übergangswiderstand zu sichern. Diese befeuchten sie mit Alkohol und Phisohex [1] bzw. mischen beides. Sie ziehen diese Mittel den gewöhnlichen Elektrodenpasten vor, da diese schwierig aufzutragen und vom Fell zu entfernen sind.
Deegen und Reinhard (1974) benutzten bei ihren Untersuchungen über EKG-Zeitwerte beim Shetland-Pony Klemmelektroden, die auf der ungeschorenen, gut mit Elektrodengel eingeriebenen Haut an einer Hautfalte befestigt sind.
Sasum (1973) arbeitete bei seinen Untersuchungen über das EKG in der Kleintierpraxis mit Kanülen als Elektroden, die subcutan eingestochen wurden.

1 Hexachlorophen Waschemulsion

Meier et al. (1974) registrierten Elektrokardiogramme beim Reh mit Hilfe eines Telemetriegerätes. Sie sedierten die Tiere mit Rompun und Stresnil, um denSender und die Elektroden zu befestigen. Sie verwendeten Drahtelektroden aus feiner Kupferlitze, die mittels einer chirurgischen Nadel durch die Haut gezogen und verknotet wurden. Durch diese Befestigung traten auch bei Bewegungen nur minimale Störungen auf.
Bohn (1977, 1979) benutzte bei seinen Untersuchungen an anaesthesierten Katzen Krokodilklemmen.
Miller (1977) verwendete durch Abplatten des vorderen Poles modifizierte Krokodilklemmen sowie einen Chloräthylspray, um eine möglichst schmerzfreie Anbringung der Elektroden zu gewährleisten. Außerdem deckt er die Tiere mit einer Wolldecke zu, um eine optimale Beruhigung der Katzen zu erreichen.
Beglinger et al. (1977b) benutzen Nadelelektroden. Während der Aufnahmen befinden sich die Tiere meist in Brust-Bauchlage.
Hahn et al. (1977) haben Richtlinien für die Elektrokardiographie beim Hund herausgegeben. Sie empfehlen die rechte Seitenlage, die Vorderextremitäten 90° zur Körperlängsachse und mit Elektrodengel befeuchtete Krokodilklemmen.

2,3 Vektoren

Eine häufig angewandte Methode zur Beurteilung der QRS-Komplexe ist die vektorielle Auswertung des EKG. Der Vektor gibt die Richtung der Erregungsausbreitung im Herzmuskel an (elektrische Herzachse).
Die Richtungsänderung zeigt insbesondere eine Änderung des Muskelmassenverhältnisses linker zu rechter Kammer an. Einige Autoren haben sich mit der physiologischen Vektorwanderung in den ersten Lebensmonaten befaßt. Die Entwicklung des EKG nach der Geburt und in den ersten Lebensmonaten bei Kindern untersuchte Walsh (1963). Es wird die Rechtsachsenabweichung bei der

Geburt und die Wanderung des Vektors während der ersten Lebensjahre beschrieben. In den ersten 48 Lebensstunden haben 75 % eine Rechtsachsenabweichung, im Alter von 3 Monaten haben 25 % und mit 6 Monaten nur noch 2 % eine Rechtsachsenabweichung.
Fowler (1966) untersuchte das Vektorkardiogramm im ersten Lebensjahr. Hierfür nahm er eine Gruppe von 50 Kindern verschiedenen Alters nach der Geburt bis zu einem Alter von einem Jahr. In einem Alter unter 5 Monaten zeigte der Hauptvektor in der Frontalebene bei den meisten Kindern 84° mit einer Standardabweichung von 44°, im Alter von 5 bis 12 Monaten 69° mit einer Standardabweichung von 45°.
Cherkovich und Ruttkay-Nedecky (1967) untersuchten heranwachsende Paviane bis zu einem Alter von einem Jahr. Der Wechsel der Vektorrichtung vollzieht sich nach ihren Untersuchungen über einen größeren Zeitraum als beim Menschen.
Deegen et al. (1976) beschreiben beim Fohlen die Änderung des QRS-Komplexes innerhalb des ersten Lebensjahres. Aus den QRS-Komplexen der Extremitätenableitungen wurde für die frontale Ebene der Hauptvektor ermittelt und das Ergebnis für die unterschiedlichen Altersgruppen miteinander verglichen. Es zeigte sich trotz großer individueller Streubreite der Vektoren eine Rotation des Vektors im Uhrzeigersinn von -45° im Fohlenalter zu 7,7° im Jährlingsalter. Die Vektorenwanderung wurde verglichen mit den Untersuchungsergebnissen der Muskelmassenverteilung am Herzen.
Gauglitz (1978) führte elektrokardiographische Verlaufsuntersuchungen an Ferkeln der Deutschen Landrasse durch. Er untersuchte eine Gruppe von 26 Tieren von der Geburt bis zur 6. Lebenswoche und eine Gruppe von 6 Tieren von der 6. Woche bis zur 12. Woche.Bei 14 Tieren der ersten Gruppe lassen sich drei Vektormuster erkennen, die frontalen QRS-Vektoren von 5 Tieren laufen von links kaudal nach links kranial, von 6 Tieren von links kranial nach rechts kaudal, einige Vektoren bleiben im Untersuchungszeitraum konstant. Die Ergebnisse zwischen der 6. Lebens-

woche und der 12. Lebenswoche weisen nicht so starke Richtungsänderung auf wie in den ersten 6 Wochen. Sie haben relativ konstante Ergebnisse, ändern jedoch bei 5 von 6 Tieren die Richtung beim Wechsel der Körperposition.
Trautvetter (1972) befaßte sich mit gesunden Hundewelpen und Welpen mit Pulmonalstenosen. Der frontale Vektor wandert bei den gesunden Welpen von rechts und vorwiegend kranial über +90° nach links und kaudal. Beim gesunden Hund finden wir bereits in der 4. Lebenswoche hauptsächlich links orientierte Vektoren.
Kühn (1968) verglich die Vektoren im EKG des Hundes in rechter Seitenlage und in Brust-Bauchlage. In beiden Lagen weist die elektrische Herzachse die gleiche Position auf. Die Vektoren beim gesunden, erwachsenen Hund verlaufen parallel zur Ableitlinie der Ableitung II.

Hamlin et al. (1963) verglichen die Vektoren beim erwachsenen Hund und bei der erwachsenen Katze. Bei beiden Tierarten zeigt der QRS-Vektor überwiegend nach links, kaudal und ventral. Auch Darke (1974) fand elektrokardiographische Ähnlichkeiten bei Hund und Katze.
Die Untersuchungen von Robertson und Ewell (1976) ergeben eine elektrische Herzachse bei der Katze von 105°. Das Herz der Katze liegt in der dorsoventralen Sicht mehr in der Mittellinie des Thorax als beim Hund.

2,4 Herzschlagfrequenz

Unshelm et al. (1974) untersuchten Schafe unter Berücksichtigung der Rasse, des Lebensalters und anderer Einflußfaktoren. Sie stellen eine höhere Herzfrequenz bei männlichen Tieren fest und interpretieren dies als Hinweis für deren stärkere Erregbarkeit.
Hamlin et al. (1967) stellen fest, daß die mittlere Herzschlagfrequenz beim Hund im Schlaf bis auf 62 Schläge pro Minute abnimmt, bei nichttrainierten Hunden liegt die mittlere Herzfrequenz bei 139 Schlägen pro Minute.
Nemec (1971) fand Untersuchungstachykardien von 130 bis 150 Schlägen pro Minute, die er unter den Gegebenheiten einer EKG-Registrierung für "normal" hält.

Werner et al. (1969) beschreiben die Herzschläge von Hunden in Ruhe respiratorisch gekoppelt in 2er und 3er Gruppen sowie in 3er Gruppen mit Zwischenschlag, wobei die Häufigkeit der Herzschläge in der Inspiration zunehmend, in der Exspiration abnehmend ist.
Beglinger et al. (1977 a) geben bei der Katze eine mittlere Herzschlagfrequenz von 176 Schlägen pro Minute an. Unter Neuroleptanalgesie mit Ketamin-Acepromazin erhöht sich die mittlere Herzschlagfrequenz nach 20 Minuten auf 194 Schläge pro Minute.
Dieselben Autoren (1977 b) geben für unsedierte Katzen sogenannte Pseudo-Ruhewerte von 179 Schlägen pro Minute und reale Ruhewerte von 128 Schlägen pro Minute an. Die Pseudo-Ruhewerte wurden in Brust-Bauchlage gemessen. Dabei wurden die Tiere von einer Hilfsperson festgehalten, während die realen EKG-Ruhewerte telemetrisch ermittelt wurden.
Harris und Ogburn (1975) konnten bei der Katze keine Sinusarrhythmie in Ruhe wie beim Hund registrieren.
Robertson und Ewell (1976) stellten im Vergleich zum Hund eine weniger markante Sinusarrhythmie bei der Katze fest.
Miller (1977) gibt einen Schwankungsbereich von 136 - 270 Schlägen pro Minute an. Die untersuchten Katzen sind zwischen 1 und 4,5 Jahren alt. Bei Steigerung der Herzfrequenz verkürzen sich PQ-, QT- und TP-Dauer deutlich, P-und QRS-Dauer dagegen nur geringfügig.

2,5 morphologische Untersuchungen

Das zum Zeitpunkt der Geburt bestehende Verhältnis der linken zur rechten Herzkammer ändert sich im Laufe der ersten Lebenswochen zugunsten der linken Kammer.
Glaus (1958) untersuchte das Wandstärken-Verhältnis zwischen linker und rechter Kammer beim Schwein. Der so gebildete Quotient ist beim Schwein altersabhängig.

Gauglitz (1978) ermittelte bei einer Gruppe von 2 - 6 Wochen alten Ferkeln einen Quotienten linker zu rechter

Kammerwand, der sich dem Durchschnittswert für erwachsene Schlachtschweine nähert.
Deegen et al. (1976) verglichen die Untersuchungsergebnisse der Vektorenwanderung mit denen der Muskelmassenverteilung beim Fohlen. Zum Geburtstermin besteht ein Muskelmassenverhältnis der rechten zur linken Kammer von 1 : 1, d. h. eine physiologische Rechtshypertrophie. Dieses Verhältnis ändert sich innerhalb des ersten Lebensjahres zu dem für das erwachsene Pferd physiologischen Verhältnis von 1 : 2, der physiologischen Linkshypertrophie.
Yuang und Rudolph (1964) kamen bei ihren Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß es nicht zu einer Atrophie der rechten Kammerwand kommt, vielmehr verschieben sich die Relationen, d. h. der linke Ventrikel wächst schneller als der rechte.
Averill et al. (1963) untersuchten an 78 Hundewelpen den Zusammenhang zwischen dem Gewicht des rechten Ventrikels zum Ventrikelgesamtgewicht und dem im rechten Ventrikel herrschenden Druck. Beide Größen entwickeln sich parallel. Das Gewicht des rechten Ventrikels nimmt in den ersten vier Lebenswochen prozentual zum Ventrikelgesamtgewicht ab.
Williams et al. (1979) untersuchten an 21 50 - 60 Tage alten Hundeföten die linke und rechte Ventrikelwand und setzten sie in Beziehung zum fötalen Ventrikeldruck. Das Verhältnis von linker zu rechter Kammer verhält sich in Höhe der Ausflußbahn des Ventrikels wie 1 : 1,46 und zwischen den Ventrikeln wie 1 : 1,05. Dies spricht für einen höheren rechtsventrikulären Druck beim Föten.
Hort (1955) stellte vergleichende Untersuchungen über das Herzwachstum bei Säuglingen und Katzenwelpen an. Die Gewichtsverhältnisse zwischen rechter und linker Kammer sind danach beim menschlichen Neugeborenen und bei Katzenwelpen gleich. Bereits in der zweiten Lebenswoche nähern sich die Massenverhältnisse nach diesen - an einer kleinen Zahl von Tieren (n = 3) - durchgeführten Gewichtsuntersuchungen denen der erwachsenen Katze.

3 Material und Methode

3,1 Untersuchungsmaterial

Die EKG-Untersuchungen wurden an 40 unsedierten Katzenwelpen beiderlei Geschlechts (alles Europäisch-Kurzhaar, ♂ = 16, ♀ = 24) durchgeführt, wobei 3 Tiere am 70. Lebenstag nicht mehr zur Verfügung standen. Soweit es möglich war, wurde das erste EKG unmittelbar nach der Geburt geschrieben, d.h. in der ersten Stunde. Bei 23 Tieren konnte sofort nach dem Kaiserschnitt ein EKG registriert werden.
Anläßlich der wöchentlichen EKG-Untersuchung wurden alle Tiere auskultiert.
Außerdem wurde von Totgeborenen und von Tieren, die im Verlauf des Untersuchungszeitraumes starben, die Ventrikelwandstärke gemessen.

3,2 Registriergeräte

Die Aufzeichnung der Elektrokardiogramme erfolgte mit einem 3-Kanalgerät "Multiscriptor"[1] bei einer Papiergeschwindigkeit von 25 und 50 mm/sec.
Bei 8 Katzenwelpen wurde zu Beginn der Untersuchungen außerdem ein Cardiostat 1-Kanalgerät[2] eingesetzt und die registrierten Elektrokardiogramme miteinander verglichen.

3,3 Ableittechnik und Ableitpunkte

Für die EKG-Registrierungen wurden die Tiere in rechter Seitenlage gehalten. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Vorderextremitäten im rechten Winkel zur Körperachse lagen. Um ältere Tiere in korrekter Extremitäten- bzw. Seitenlage zu halten, wurden die Extremitäten bei Bedarf für die Zeit der Registrierung mit Klebeband fixiert.
Die Aufnahme der Elektrokardiogramme erfolgte in einem ruhigen, warmen Raum. Neugeborene Tiere wurden außerdem zugedeckt, um Aufregung und Wärmeverluste zu vermeiden.

1 Fa. Hellige, Freiburg
2 Siemens AG

Als Elektroden wurden Krokodilklemmen benutzt. Diese wurden an die gut mit Elektrodengel und Alkohol befeuchtete Haut geklemmt.
Folgende Ableitungen wurden benutzt:

3 bipolare Ableitungen nach Einthoven

I = rechter Unterarm - linker Unterarm
II = rechter Unterarm - linker Schenkel
III = linker Unterarm - linker Schenkel

3 unipolare Extremitätenableitungen nach Goldberger

aVR = rechter Unterarm
aVL = linker Unterarm
aVF = linker Schenkel

1 unipolare Brustwandableitung

V_{10} = unmittelbar über dem Dornfortsatz des 7. Brustwirbels

3,4 Ausmessung und Vektorkonstruktion

Die in einem Sonderprogramm simultan aufgezeichneten Ableitungen I, aVF und V_{10} ermöglichten eine zeitgleiche Ausmessung der Amplituden.
Zur Messung der Amplituden im QRS-Komplex wurden Kurven aus der gleichen Atmungsphase benutzt. Für die Auswertung wurden in jeder Ableitung mindestens 6 EKG-Abläufe ermittelt.
Die Amplituden sind vom höchsten Punkt bzw. tiefsten Punkt der Ausschläge zur Nullinie gemessen.
Die Eichung beträgt 1 cm = 1 mV.
Zur Bestimmung der Herzschlagfrequenz pro Minute wurden bei einer Papiergeschwindigkeit von 25 mm/sec. 6 Sekunden ausgezählt und mit 10 multipliziert.
Aus der Ableitung II wurde PQ, QRS und QT ermittelt und die Intervallängen der einzelnen Lebenstage miteinander verglichen.

Bei der Erregung der Herzmuskelfasern treten Spannungsunterschiede auf, die zum Entstehen einer gerichteten elektrischen Kraft führen, dem sogenannten Vektor. Bei jeder Erregung entstehen Einzelvektoren, deren Summe nach dem Parallelogramm der Kräfte den Summationsvektor ergeben. Dieser Hauptvektor wurde für die frontale, die transversale und die sagittale Ebene gebildet. Die einzelnen Ebenen sind mit den verwendeten Ableitungen und den daraus beim erwachsenen Tier domminierenden QRS-Hauptvektoren in der Abbildung 1 graphisch dargestellt.

Die Verteilung der QRS-Vektoren in der Frontalebene, der Transversalebene und der Sagittalebene in den verschiedenen Altersstufen wurden in achttägigen Abständen ermittelt. Diese Vektoren wurden für die verschiedenen Altersstufen in ein Koordinatensystem eingetragen, eine Verbindungslinie zwischen Koordinatenschnittpunkt und einem eingezeichneten Kreis läßt Größe und Winkel eines QRS-Vektors erkennen.

3,5 morphologische Untersuchungen

Die in 7%iger Formalinlösung fixierten Herzen wurden mit einem Schnitt unterhalb der Vorhof-Kammergrenze eröffnet. Die Ventrikelwandstärke wurde mit einer Schublehre an der dem Septum gegenüber liegenden Seite gemessen.
Außerdem wurden histologische Schnitte von Katzenherzen angefertigt, um die Wanddickenunterschiede unmittelbar nach der Geburt bis zu einem Alter von 10 Wochen zu dokumentieren.

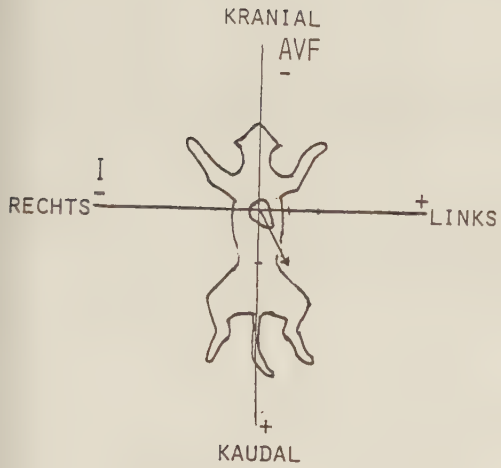
Abb. 1: Graphische Darstellung der Hauptvektoren

a) Frontal-Vektor
Graphische Darstellung des Hauptvektors aus der Summe der QRS-Zacken der Ableitung I und aVF. Der eingezeichnete Vektor entspricht einer QRS-QRS-Summe von +0,5 mV in Ableitung I (Abszisse) und +1,0 mV in Ableitung aVF (Ordinate). Die Verbindung des Schnittpunktes mit dem Nullpunkt gibt Größe und Richtung des Vektors an.

b) Transversal-Vektor
Graphische Darstellung des Hauptvektors aus der Summe der QRS-Zacken der Ableitungen I und V_{10}. Der eingezeichnete Vektor entspricht einer QRS-Summe von +0,5 mV in Ableitung I und -1,0 mV in Ableitung V_{10}.

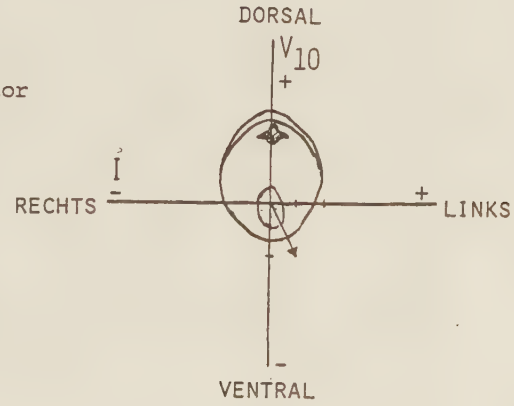
c) Sagittal-Vektor
Graphische Darstellung des Hauptvektors aus der Summe der QRS-Zacken der Ableitung aVF und V_{10}. Der eingezeichnete Vektor entspricht einer QRS-Summe von -1,0 mV in Ableitung V_{10} und +1,0 mV in Ableitung aVF.

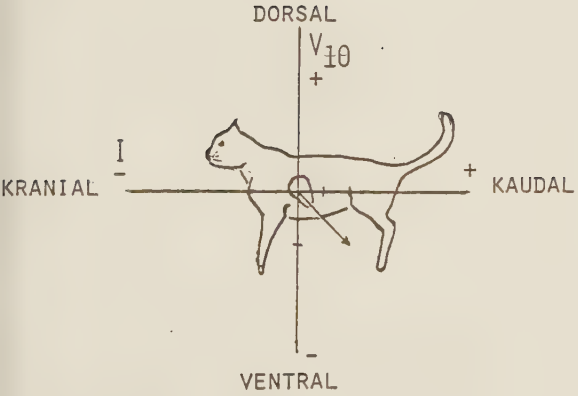
Siehe auch Abbildung 3 auf Seite 28.



a) Frontal-Vektor

b) Transversal-Vektor





c) Sagittal-Vektor

4 Ergebnisse

4,1 Bei den 40 untersuchten Katzen konnte zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung ein pathologischer Auskultationsbefund erhoben werden.

Elektrokardiographische Untersuchungen an Katzenwelpen von der Geburt bis zum 70. Lebenstag.

4,1,1 Schlagfrequenz

Bei 23 Tieren beträgt der mittlere Wert der Herzschlagfrequenz sofort nach dem Kaiserschnitt gemessen 161 Schläge pro Minute, bei 17 Tieren liegt er wenige Stunden nach der Geburt bei 232 Schlägen pro Minute. Die Frequenz steigt dann im Laufe der ersten Lebenstage an. Am 8. Lebenstag beträgt der Mittelwert 245, am 21. Lebenstag beträgt er 259 und steigt am 42. Tag auf 262 an, um am 70. Lebenstag mit einem Mittelwert von 232 wieder der mittleren Herzschlagfrequenz des ersten Lebenstages zu entsprechen. Die Werte zwischen dem 1. und 70. Lebenstag nehmen nicht kontinuierlich ab.

Stellt man jedoch die Einzelwerte der Herzschlagfrequenzen (Tabelle 2) am Ende der ersten Lebenswoche (8. Lebenstag) den Schlagzahlen nach 10 Lebenswochen (70. Lebenstag) gegenüber, so zeigt sich ein deutlicher Trend zur Verminderung.

Von 37 Katzen, die auch nach 10 Wochen untersucht werden konnten hatten 23 eine niedrigere Schlagfrequenz am Ende der Untersuchung.
Nur achtmal war die Schlagfrequenz höher als zu Beginn, sechsmal sind die Anfangs- und Endwerte gleich. Auch die Differenz zwischen dem Schlagzahlmaximum und dem Schlagzahlminimum verringert sich von 130/min am 8. Lebenstag auf 50/min am 70. Lebenstag.

Zeitpunkt	Anzahl der Tiere	Herzschlagfrequenzen max - min	$\bar{x}$	Standardabweichung
1. Lebenstag	23[1]	270 - 100	161	42
	17[2]	290 - 120	239	41
8. Lebenstag	40	300 - 170	245	25
21. Lebenstag	40	300 - 180	259	30
42. Lebenstag	40	330 - 190	262	31
70. Lebenstag	37	260 - 210	232	16

[1] Kaiserschnitt
[2] älter als fünf Stunden

Tab. 1: Herzschlagfrequenzen/min. zwischen dem 1. und 70. Lebenstag

Tab.2: Herzschlagzahlen pro Minute zu verschiedenen Lebensaltern

Geschlecht		Lebenstag 1.	8.	21.	42.	70.
w		290	270	180	260	220
m		280	280	290	260	220
w		270	260	270	290	260
m		260	270	270	280	250
w		270	280	300	240	230
m		250	260	320	240	220
w	K	140	220	240	260	260
w	K	180	230	240	260	210
m	K	190	260	260	220	240
m		260	300	260	330	230
m		230	210	220	220	260
w		240	230	240	310	250
w		240	240	260	260	230
w		250	230	240	290	220
m		230	260	270	260	220
m	K	140	270	290	280	230
m	K	140	260	270	260	220
m	K	190	280	300	270	210
w	K	140	220	280	300	230
w	K	120	250	200	300	260
w	K	110	270	270	280	220
w	K	120	230	280	240	240
m	K	220	250	290	300	230
w	K	110	270	270	280	220
m	K	100	230	290	280	230
w	K	220	210	280	260	240
w	K	220	250	260	290	250
m	K	150	260	240	280	210
w	K	250	170	220	280	250
w	K	170	240	290	190	240
w	K	190	240	190	200	230
w	K	140	240	280	260	220
m	K	200	240	280	200	240
m		260	240	240	260	
m	K	120	220	260	250	
w	K	140	230	250	220	
m		200	240	250	240	200
m		180	220	240	220	220
w		120	230	260	280	220
w		230	240	260	280	250

w ... weiblich
m ... männlich
K ... Kaiserschnitt

4,1,2 Intervalle

In der Ableitung II wurden PQ und QRS ermittelt und die Intervallängen der einzelnen Lebenstage miteinander verglichen. Der Wert für die QT-Strecke wurde nicht ermittelt, da die T-Amplitude in allen Ableitungen kaum meßbar war.
Der Mittelwert bei 40 Tieren für PQ beträgt am 1. Lebenstag 0,063 sec., für QRS 0,040 sec. Am 21. Lebenstag beträgt der Mittelwert für PQ 0,061 sec., für QRS beträgt er o,o4o sec. Am 42. Lebenstag liegt der Mittelwert für PQ bei o,o6o sec. und für QRS bei o,o4o sec. Am 70. Lebenstag liegt er für PQ bei o,o62 sec. und für QRS bei 0,040 sec. bei 37 Tieren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt.

4,1,3 Entwicklung des QRS-Komplexes

Die Potentialänderung, die durch die Depolarisation der linken und rechten Kammer entsteht, wird im EKG als Abweichung von der Nullinie gesehen. Man spricht von einem positiven Kammerkomplex, wenn die Summe der positiven, d. h. der nach oben gerichteten Ausschläge überwiegt, und von einem negativen Kammerkomplex, wenn die Summe der negativen, d. h. der nach unten gerichteten Ausschläge überwiegt.
Das EKG zeigt am 1. Lebenstag deutlich negative Kammerkomplexe in der Ableitung I, in den Ableitungen II, III und aVF, während aVR positiv ist. Ableitung V_{10} kann sowohl negativ als auch positiv sein. Am 8. Lebenstag zeigen die Ableitungen II und aVF nicht mehr so tiefe Ausschläge, während Ableitung III sowohl negativ als auch schwach positiv sein kann. Auch die Ableitung V_{10} bleibt sowohl positiv als auch negativ, während die Ableitungen I und aVL negativ sind. Am 21. Lebenstag sind Ableitung I und aVL noch negativ, während sich bei den Ableitungen II und aVF und noch deutlicher in der Ableitung III der Wechsel zum positiven Kammerkomplex vollzieht. Am 42. Lebenstag ist Ableitung I noch schwach negativ,

Ableitung II und III und aVF sind sowohl negativ als auch positiv. Bei Ableitung aVR vollzieht sich der Wechsel zum negativen Kammerkomplex. Am 70. Lebenstag ist Ableitung I schwach positiv, die Ableitungen II, III und aVF sind deutlich positiv, während aVR jetzt negativ ist. Es ist bereits die bei der erwachsenen Katze bekannte Niedervoltage zu erkennen (Abb. 2, EKG-Beispiel).

4,1,4 vektorielle Deutung

Frontalvektor

Der QRS-Summenvektor in der Frontalebene ist am 1. Lebenstag nach rechts und vorwiegend kranial gerichtet. Die Vektoren liegen mit einer Ausnahme zwischen - 110° und + 135° (Abb. 3). Am 21. Lebenstag liegen die QRS-Vektoren überwiegend zwischen - 135° und + 90° (Abb. 4). Am 42. Lebenstag liegt er bei 27 Tieren zwischen $\pm$ 180° und + 80° (Abb. 5). Am 70. Lebenstag liegen die Vektoren bei 27 von 36 Tieren zwischen + 100° und + 45° (Abb. 6). Der QRS-Summenvektor in der Frontalebene wandert von rechts kranial über + 90° nach links kaudal.

Transversalvektor

Der QRS-Summenvektor in der Transversalebene wandert von rechts über + 90° nach links ventral. Verursacht durch positive Kammerkomplexe in Ableitung aVF liegen 10 QRS-Vektoren am 1. Lebenstag kranial der Ableitlinie von I (Abb. 7). 29 Vektoren sind zu diesem Zeitpunkt zwischen - 135 ° und + 135° lokalisiert. Am 21. Lebenstag liegt er bei 37 von 40 Tieren zwischen $\pm$ 0° und $\pm$ 180°. Er ist hauptsächlich nach rechts und ventral gerichtet (Abb. 8). Am 42. Lebenstag liegt er bei 34 von 40 Tieren zwischen + 45° und $\pm$ 180°. Die dominierende Ausschlagrichtung ist unverändert (Abb. 9). Am 70. Lebenstag liegt er bei 30 von 37 Tieren zwischen + 135° und $\pm$ 0° (Abb.10). Die QRS-Vektoren in der Transversalebene sind durch das

Überwiegen positiver Kammerkomplexe in Ableitung I vorwiegend nach links und ventral orientiert. Nur bei 4 Tieren bleibt Ableitung V_{10} positiv, deshalb zeigen die Vektoren auch um Untersuchungsende noch nach dorsal.

Sagittalvektor

Der Vektor in der Sagittalebene wandert von dorsokranial über + 90° nach ventrokaudal.
Am 1. Lebenstag liegt er bei 32 Tieren zwischen + 90° und - 135°. Die sagittalen Vektoren sind vorwiegend kranial gerichtet (Abb. 11). Am 21. Lebenstag liegt er bei 34 von 40 Tieren zwischen + 135° und $\pm$ 0°. Er ist nach ventrokaudal gerichtet (Abb. 12). Am 42. Lebenstag liegt er bei 33 von 40 Tieren zwischen - 45° und 135° (Abb. 13). Durch zunehmend positive QRS-Summen in Ableitung aVF liegt die Mehrzahl der Vektoren jetzt kaudal. Am 70. Lebenstag liegt der Vektor bei 30 von 37 Tieren zwischen + 45° und - 45°. Bei 31 Tieren sind die Sagittalvektoren nach ventrokaudal gerichtet (Abb. 14).

Um die Evolution des QRS-Komplexes und damit des QRS-Vektors in den drei Ebenen bei einem einzelnen zufällig ausgewählten Katzenwelpen darzustellen, sind die QRS-Vektoren der einzelnen Untersuchungswochen in Abbildung 15 - 17 eingetragen.

Lebenstag	Anzahl (n)	PQ $\bar{x}$	PQ max - min	QRS $\bar{x}$	QRS max - min
1.	23[1]	0,063*	0,08 - 0,06	0,040*	0,06 - 0,04
	17[2]	0,064	0,08 - 0,06	0,040	0,04 - 0,04
8.	40	0,062	0,08 - 0,06	0,040	0,04 - 0,03
21.	40	0,061	0,08 - 0,06	0,040	0,04 - 0,03
42.	40	0,060	0,08 - 0,04	0,040	0,04 - 0,03
70.	37	0,062	0,08 - 0,06	0,040	0,06 - 0,03

Tab. 3: Intervalle (in Sekunden) aus Ableitung II der EKGs
[1] Katzen mit Kaiserschnitt; [2] Katzen älter als 5 Stunden
* rechnerische Genauigkeit

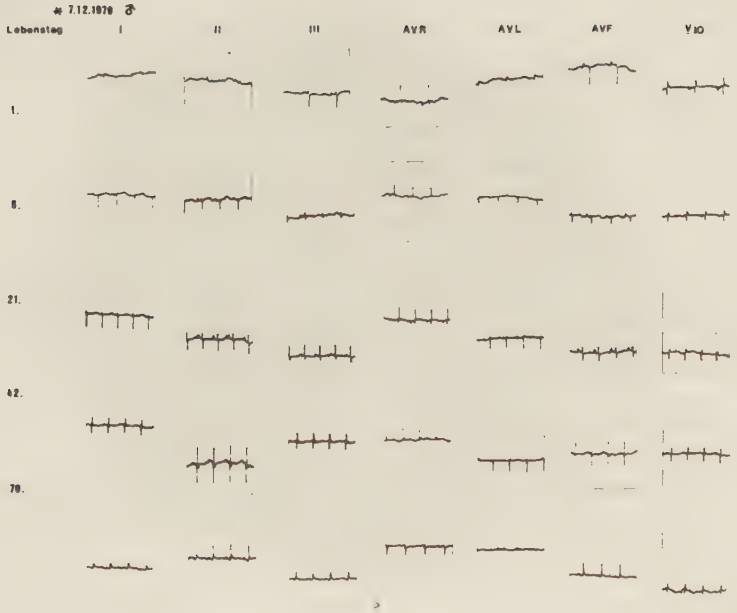


Abb. 2 EKG Beispiel,europ. Kurzhaarkatze ♂

Das EKG zeigt am 1.Lebenstag negative Kammerkomplexe in den Ableitungen I,II,III und aVF, während aVR positiv ist.In der 6.Woche ist Ableitung I noch schwach negativ,während aVF sowohl negativ als auch positiv sein kann.Am 7o. Lebenstag ist Ableitung I schwach positiv,Ableitung II,III und aVF deutlich positiv, während aVR jetzt negativ ist.
Am 7o. Lebenstag ist bereits die bei der erwachsenen Katze bekannte Niedervoltage zu erkennen.

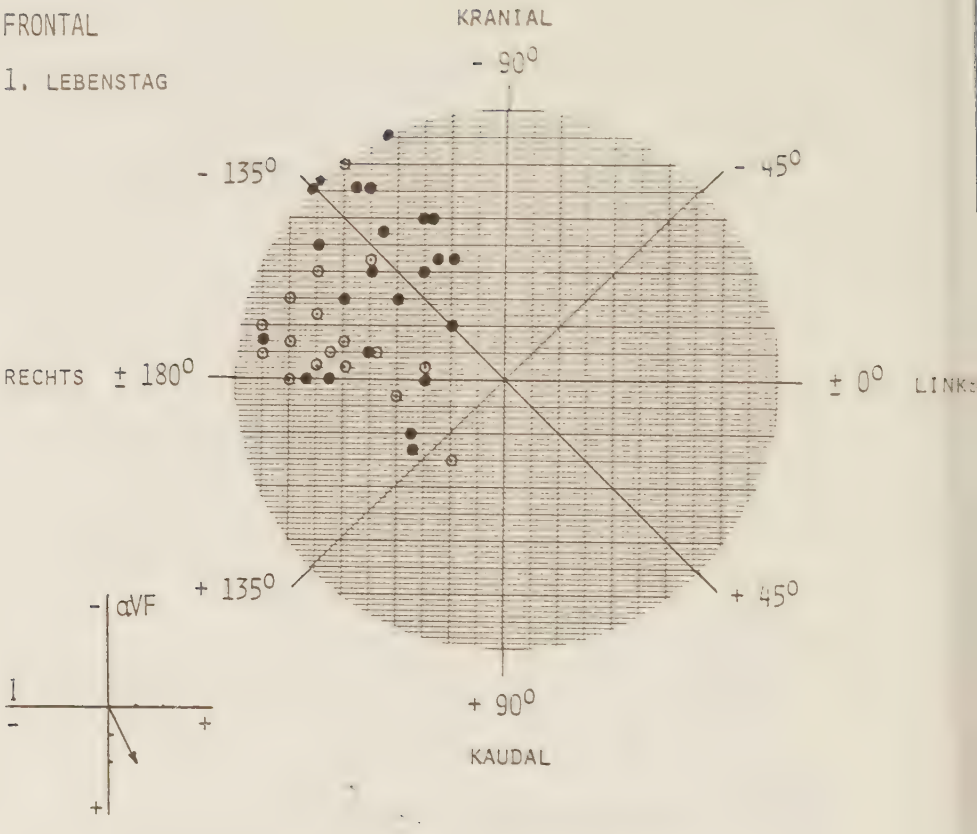


Abb. 3: QRS-Summenvektor in der Frontalebene konstruiert aus den Ableitungen I und aVF
●= sofort nach dem Kaiserschnitt registriert
o= einige Stunden alt
Am 1.Lebenstag ist der frontale Vektor nach rechts und vorwiegend kranial gerichtet.

Unten links ist das Koordinatenkreuz aus den benutzten Ableitlinien der Ableitung aVF und I für die frontale Ebene mit der entsprechenden Polung eingezeichnet. Die Richtungsbezeichnungen (kranial, kaudal, rechts, links etc.) aus den großen Graphiken gelten für die Koordinatenkreuze der Abbildungen 3, 7 und 11 gleichermaßen. Der eingezeichnete Vektor entspricht einer QRS-Summe von +0,5mV in Abl. I und +1,0 mV in Ableitung aVF.
In dieser und allen folgenden Abbildungen entspricht der äußere Rand des Rasterpapiers 1 mV.

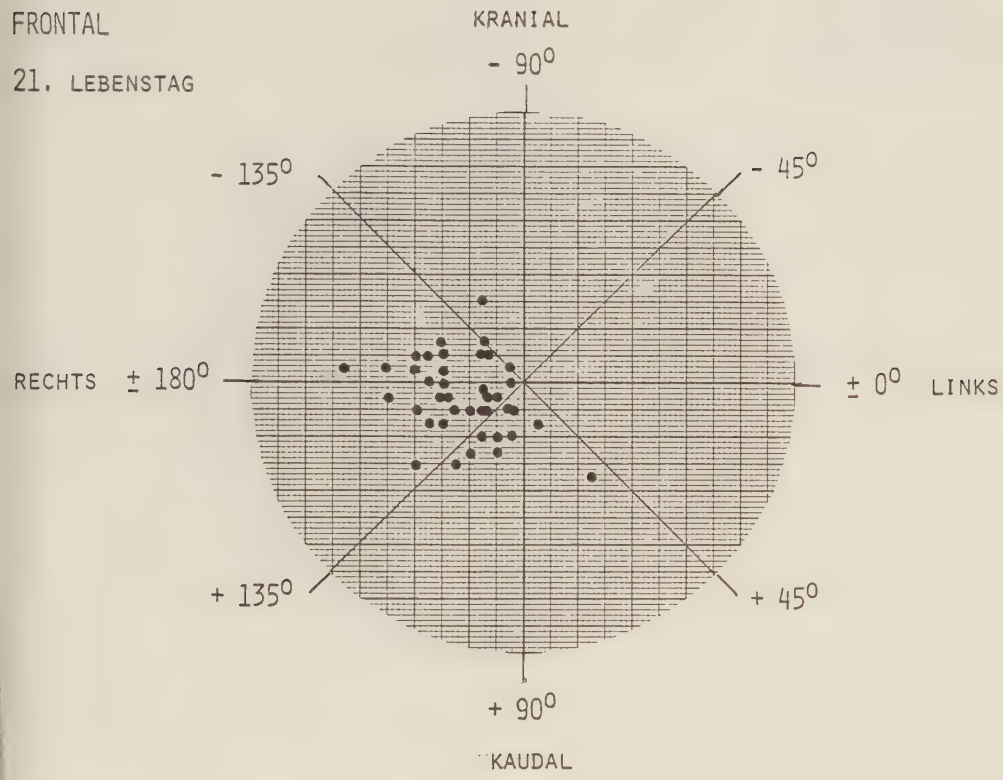


Abb. 4: QRS-Summenvektor in der Frontalebene
am 21. Lebenstag
Die Vektoren sind überwiegend nach rechts und
kaudal orientiert.

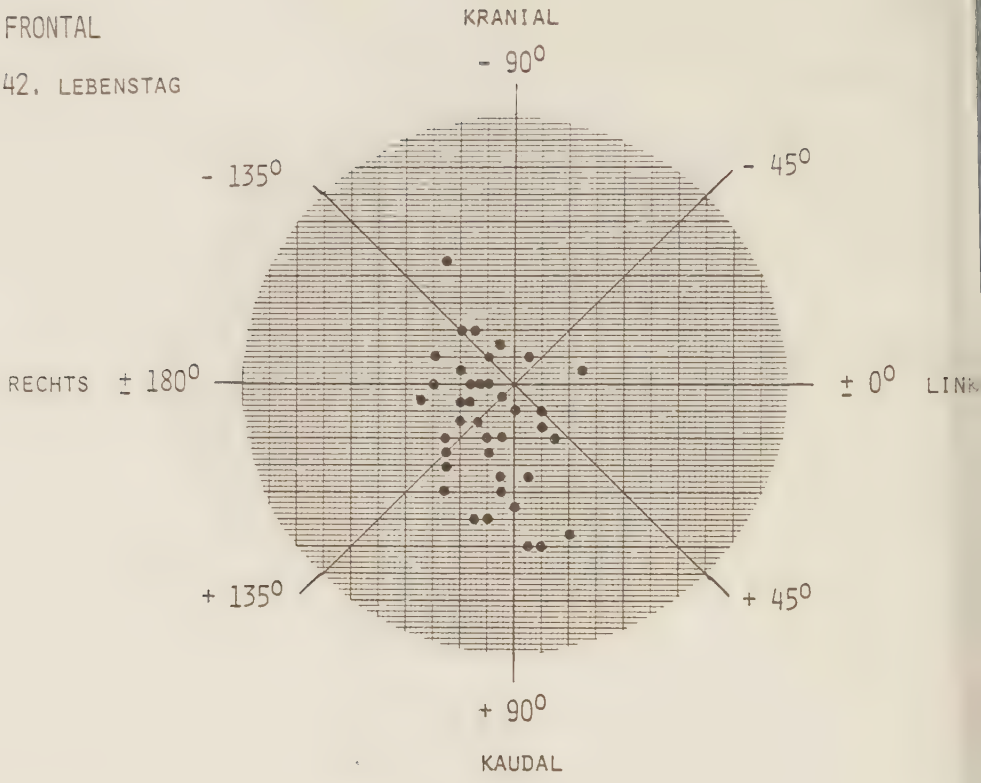


Abb. 5: QRS-Summenvektor in der Frontalebene am 42. Lebenstag
Die frontalen Vektoren liegen infolge hauptsächlich negativer QRS-Summen in der Ableitung I weiterhin vorwiegend rechts der senkrechten Ableitlinie von aVF.

FRONTAL

70. LEBENSTAG

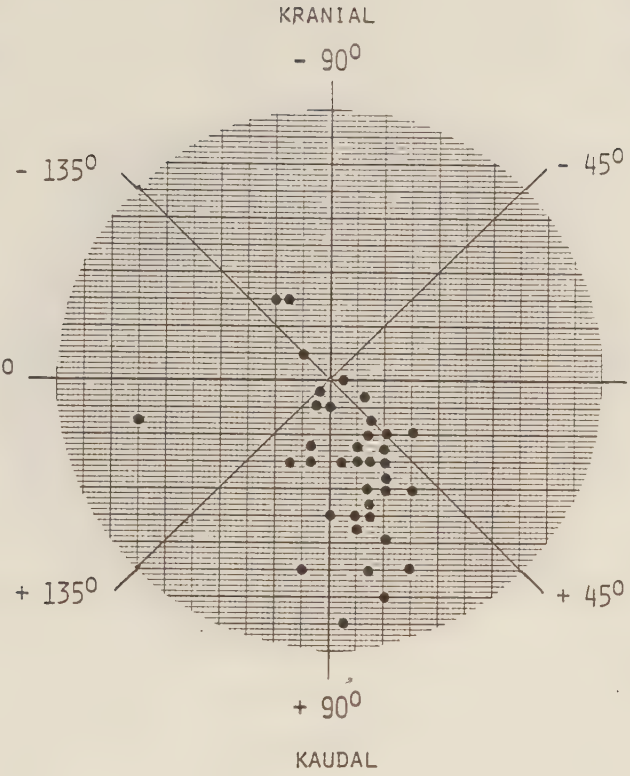


Abb. 6: QRS-Summenvektor in der Frontalebene am 7o. Lebenstag.
In den Ableitungen I und aVF findet man jetzt hauptsächlich positive Ausschläge, die Vektoren deuten ganz überwiegend nach kaudal und bei 27 Tieren nach links.

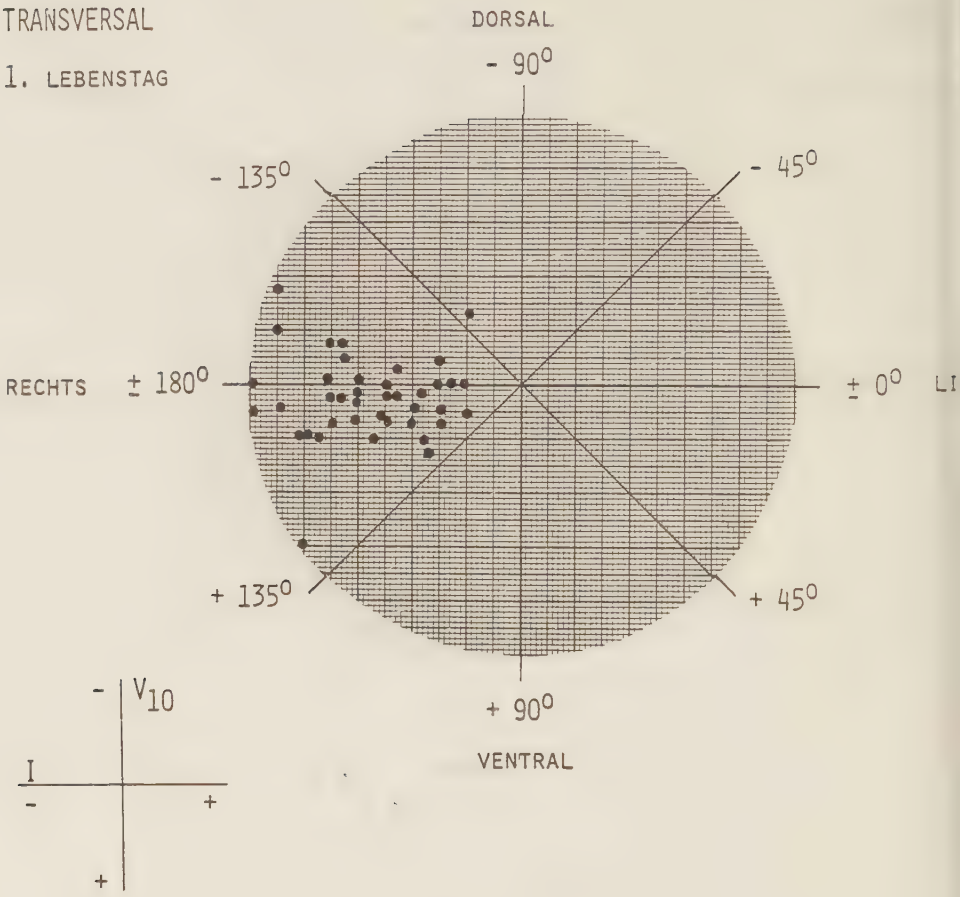


Abb. 7: QRS-Summenvektor in der Transversalebene konstruiert aus den Ableitungen I und V_{1o} am 1. Lebenstag.
Am 1. Lebenstag ist der Vektor nach rechts und vorwiegend ventral gerichtet.

Unten links ist das Koordinatenkreuz aus den Ableitlinien der Ableitungen V_{1o} und I für die Transversalebene mit der entsprechenden Polung eingezeichnet.

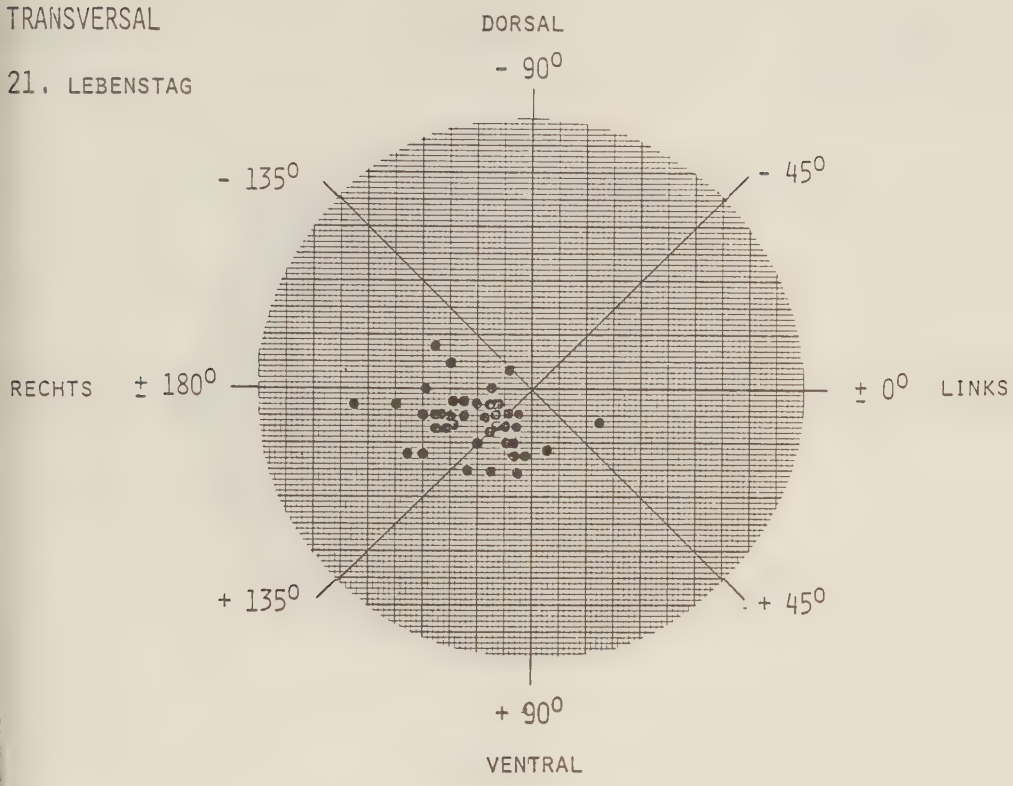


Abb. 8: QRS-Summenvektor in der Transversalebene am 21. Lebenstag.
Die Ausschlagrichtung nach rechts bzw. ventral dominiert.

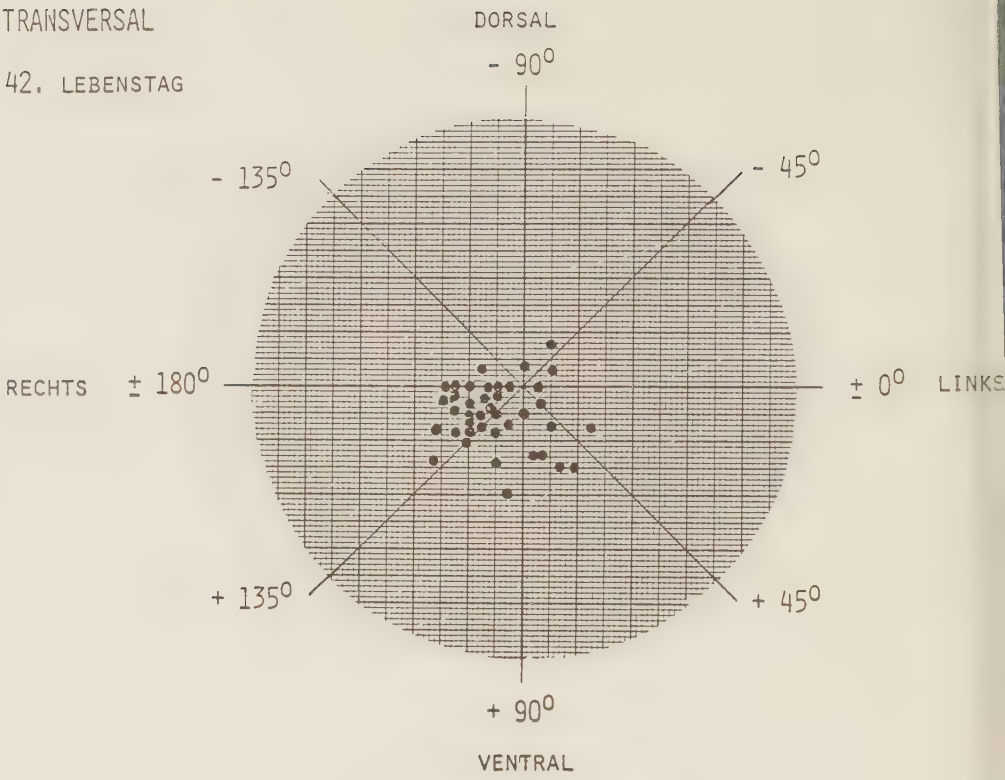


Abb. 9: QRS-Summenvektor in der Transversalebene am 42. Lebenstag.
Bei 34 von 40 Tieren liegt der Vektor zwischen +45° und ± 180°. Er ist nach rechts und ventral gerichtet.

TRANSVERSAL

70. LEBENSTAG

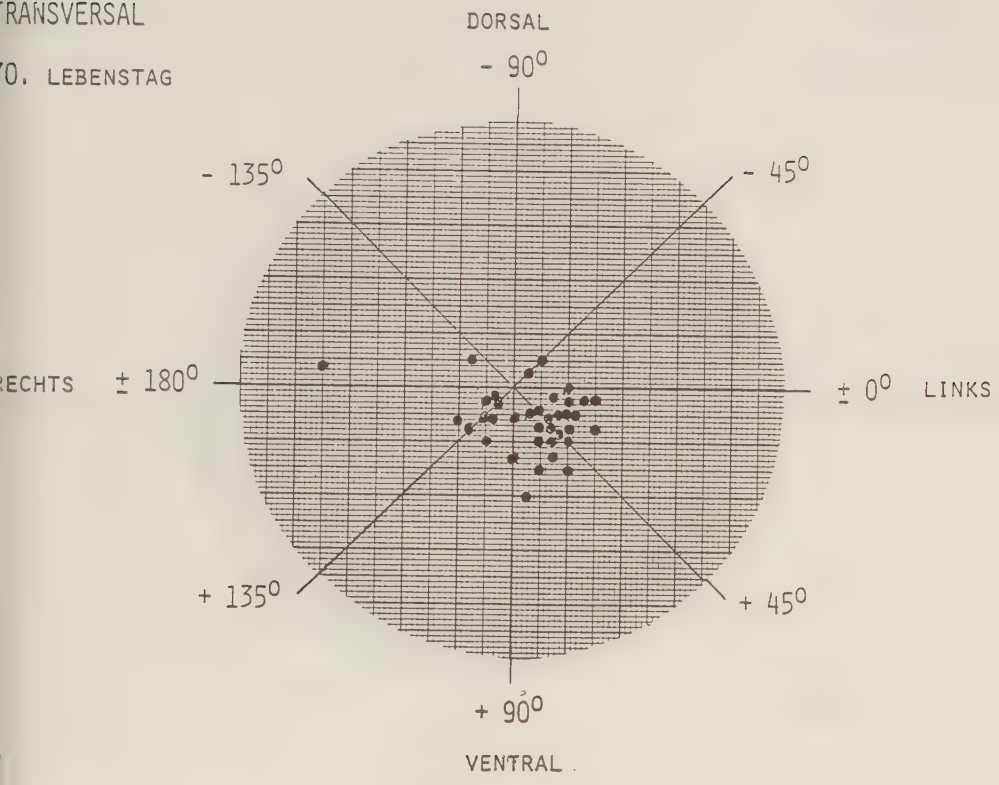


Abb. 10: QRS-Summenvektor in der Transversalebene am 7o.Lebenstag.
Bei 32 von 4o Tieren liegt er zwischen +14o° und +1o°.Er ist nach ventral und hauptsächlich links gerichtet.

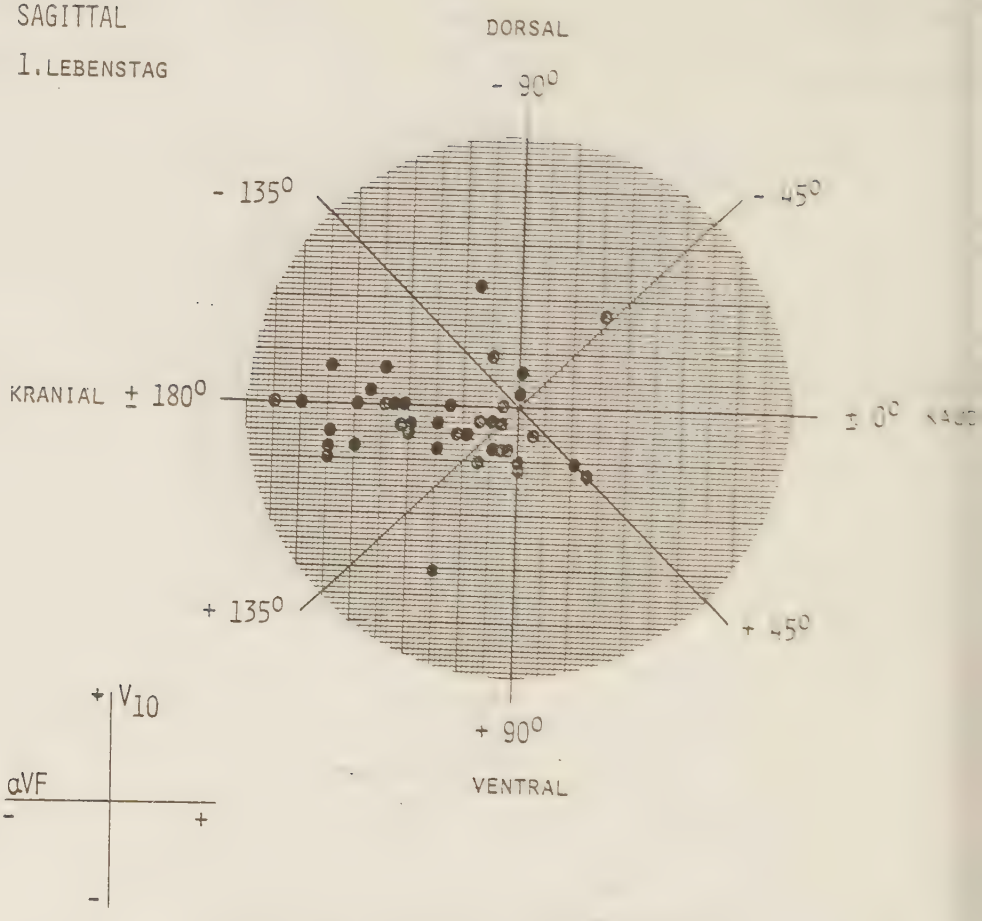


Abb. 11: QRS-Summenvektor in der Sagittalebene am 1. Lebenstag, konstruiert aus den Ableitungen aVF und V_{10}.
Die kraniale Ausschlagrichtung herrscht vor.

Unten links ist das Koordinatenkreuz aus den Ableitlinien der Ableitungen V_{10} und aVF für die sagittale Ebene mit der entsprechenden Polung eingezeichnet.

SAGITTAL

21. LEBENSTAG

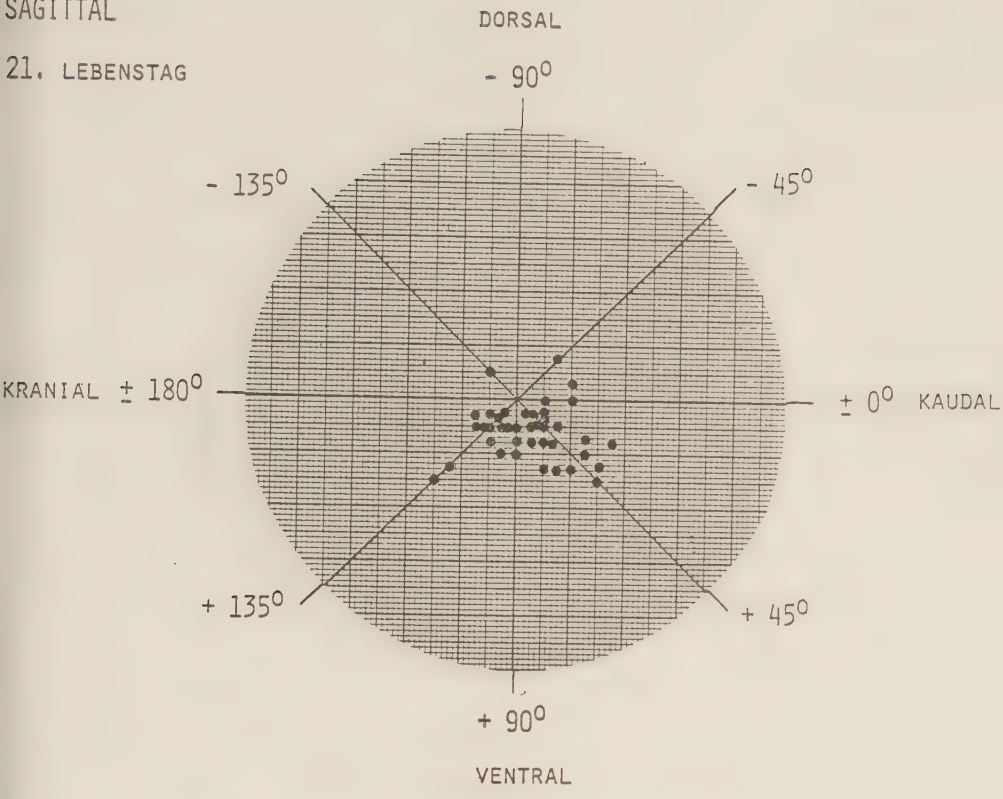


Abb. 12: QRS-Summenvektor in der Sagittalebene am 21. Lebenstag.
Bei 34 von 4o Tieren liegt der Vektor zwischen +135° und ±o°. Er ist nach ventro-kaudal gerichtet.

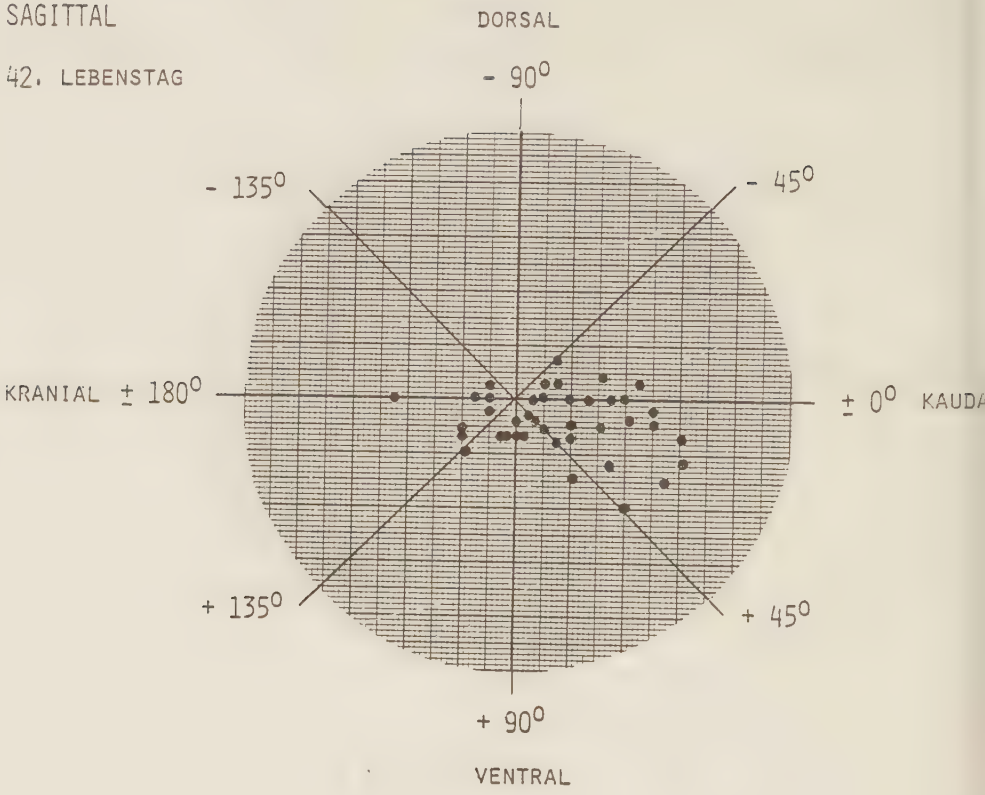


Abb. 13: QRS Summenvektor in der Sagittalebene am 42. Lebenstag.
Bei 33 von 4o Tieren liegt der Vektor zwischen -45° und-135°. Er ist nach ventro-kaudal gerichtet.

SAGITTAL

70. LEBENSTAG

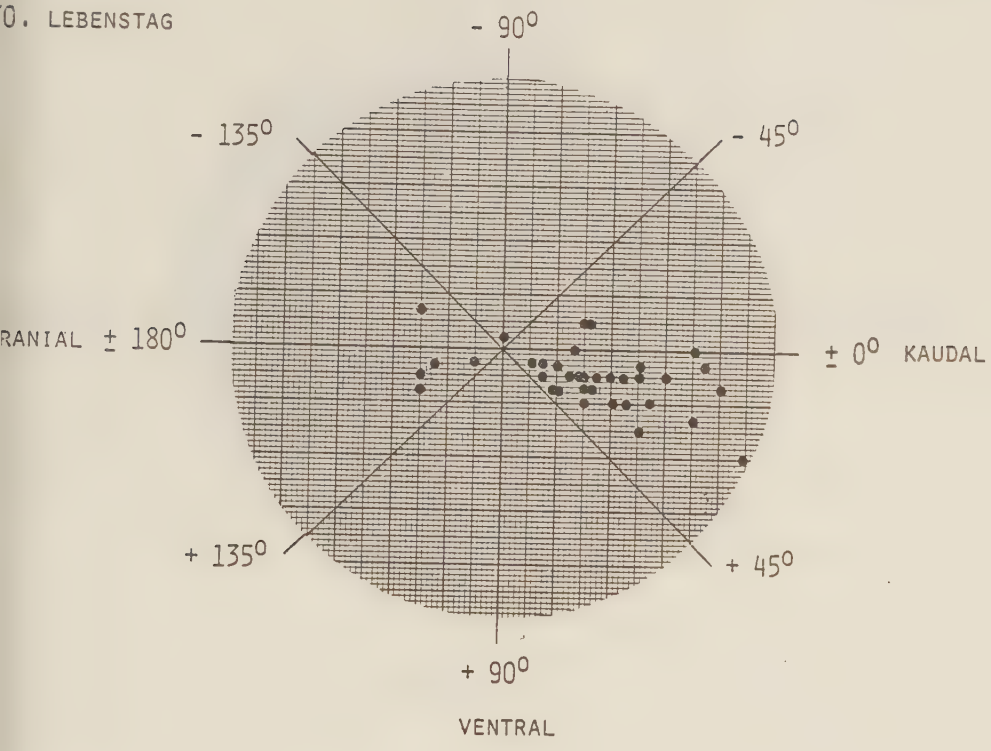


Abb. 14: QRS Summenvektor in der Sagittalebene am 7o. Lebenstag.
Bei 3o von 37 Tieren liegt der Vektor zwischen +45° und -45°. Er ist nach ventrokaudal gerichtet.

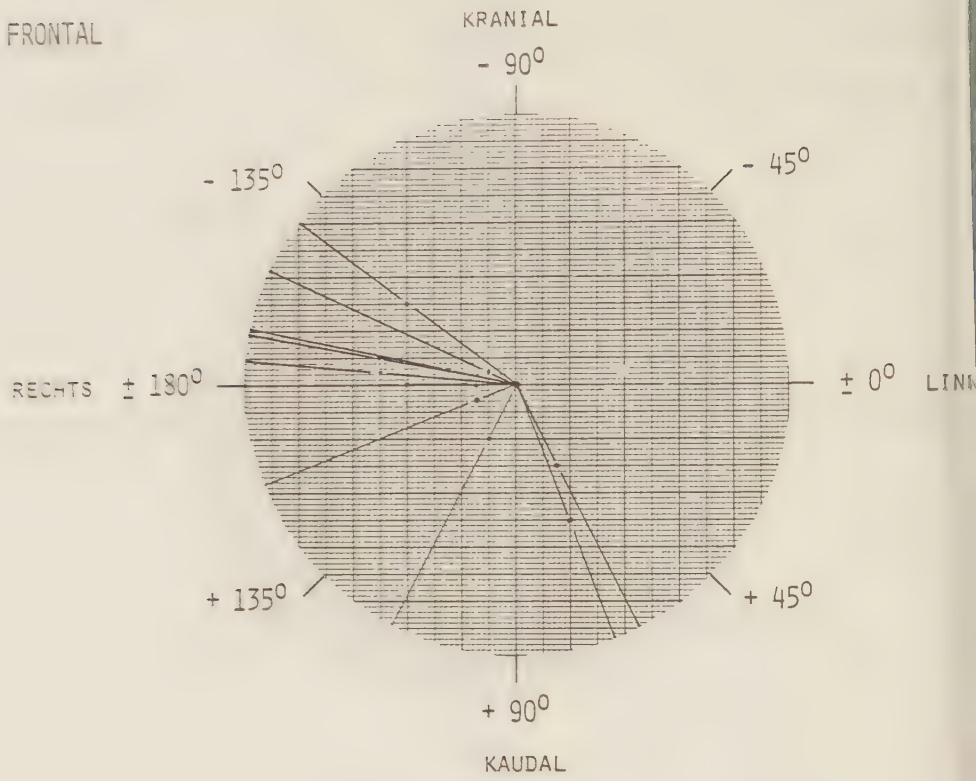


Abb. 15: Um den Achsenverlauf im Laufe der ersten 7o Lebenstage nochmal zu verdeutlichen, hier ein Beispiel der QRS-Summenvektoren in der Frontalebene eines willkürlich ausgewählten Tieres (europ. Kurzhaar, ♂). Bis zur 6.Woche hauptsächlich negative QRS Summen in den Ableitungen I und aVF, ab der 7.Woche positive QRS Summen in aVF. Erst ab der 6. bis 1o.Woche positive Ausschläge in Ableitung I. Es zeigt sich ein von rechts kranial nach links kaudal orientierter Achsenverlauf.

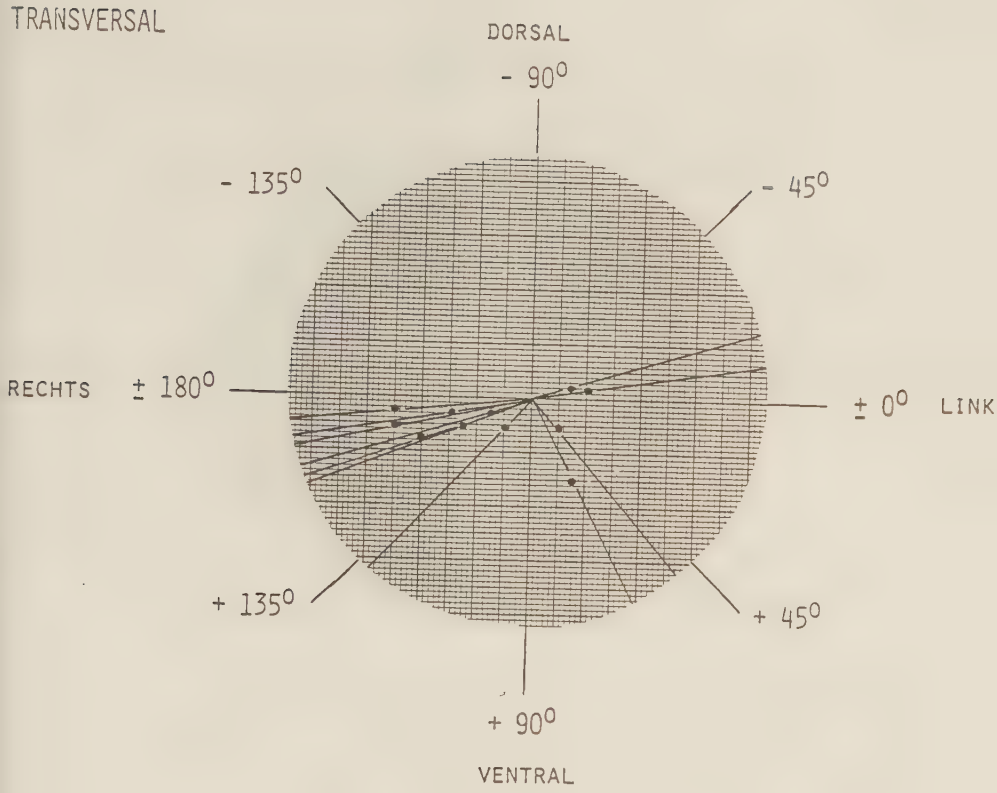


Abb. 16: Entwicklung der QRS-Summenvektoren in der Transversalebene. Die Vektoren wandern von rechts über $+90^{\circ}$ nach links ventral.

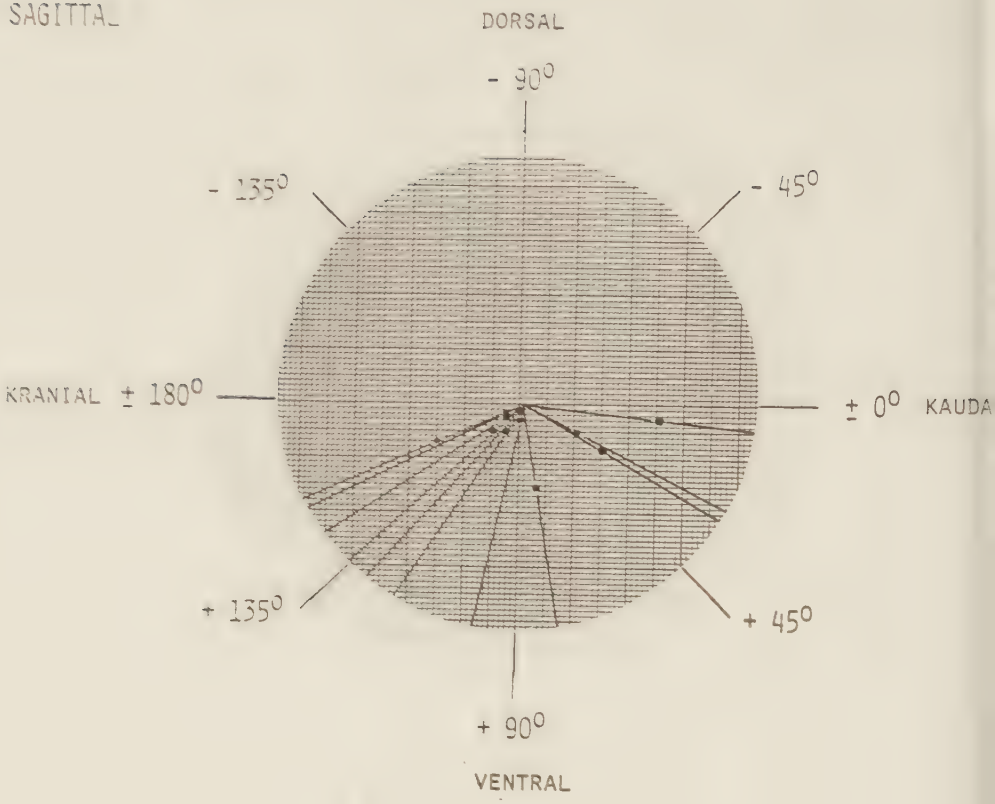


Abb. 17: Entwicklung der QRS-Summenvektoren in der Sagittalebene. Die Vektoren wandern von dorsokranial über 90° nach ventrokaudal.

4,2 morphologische Untersuchungen

Da Richtung und Größe der Hauptvektoren vor allem von der Dicke der Ventrikelwand abhängig sind, wurde das Muskelmassenverhältnis zwischen linker und rechter Kammer gemessen.
Die in Formaldehydlösung fixierten Herzen wurden mit einem Schnitt unterhalb der Vorhof-Kammergrenze eröffnet. Die Ventrikelwandstärke wurde mit einer Schublehre in Millimetern an der dem Septum gegenüber liegenden Seite gemessen.
Es standen 35 Herzen zur Verfügung.

Gruppe I bis drei Tage alte Katzen (16)

Gruppe II bis zehn Tage alte Katzen (13)

Gruppe III bis zehn Wochen alte Katzen (6)

Die einzelnen Werte sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Das Institut für Veterinär-Anatomie, -Histologie und -Embryologie der FU fertigte mit Hämatoxylin-Eosin gefärbte Schnitte von wenigen Tagen alten Katzenwelpen an. Bei den bis 3 Tage alten Welpen beträgt der Quotient aus dem Wandstärkenverhältnis von linker zu rechter Kammer (LV/RV) 1,53. Bei den bis zu 10 Tagen alten Welpen beträgt er 2,30 und bei den 10 Wochen alten Tieren steigt er auf 2,95. Während sich die Wanddicke zwischen dem rechten und dem linken Ventrikel bis zum 3. Lebenstag wie 1,8 zu 2,5 verhält, ändert sich dieses Verhältnis bei Katzenwelpen, die älter als 10 Wochen sind auf 0,8 zu 2,5. Kurz nach der Geburt ist die linke Ventrikelwand also nur unerheblich dicker als die rechte. Bei Katzen im Alter von 10 Wochen und darüber ist die Wand des linken Ventrikels dreimal dicker als die des rechten. Dies wird beim Betrachten der Querschnitte in den Abbildungen 18 - 21 deutlich.

Anzahl	- 3 Tage alt			- 10 Tage alt			10 Wochen		
	LV	RV	LV/RV	LV	RV	LV/RV	LV	RV	LV/RV
1	3	2,5	1,2	2,5	1	2,5	5	1,5	3,3
2	3	2,5	1,2	2,5	1	2,5	4,5	1,5	3
3	3	2,5	1,2	1,5	0,5	3	5	1,5	3,3
4	3,5	3	1,2	2,5	1	2,5	5,5	1,5	3,4
5	3	2	1,5	3	1	3	4,5	2	2,3
6	3	2	1,5	1,5	1	1,5	5	2	2,5
7	3	2	1,5	3	1,5	2			
8	2,5	2	1,3	3	1	3			
9	2	1,5	1,4	2,5	1,5	1,7			
10	2	1,5	1,4	2	1,5	1,4			
11	2,5	1,5	1,7	2,5	1	2,5			
12	2,5	1	2,5	2	1	2			
13	2	1,5	1,4	3	1	3			
14	2	1,5	1,4						
15	1	0,5	2						
16	2,5	1	2,5						
	$\bar{x}$ = 1,5			$\bar{x}$ = 2,3			$\bar{x}$ = 2,9		
	Medianwert (1,95)			Medianwert (1,95)			Medianwert (2,8)		

Tabelle 4

Ventrikelwandstärke links (LV) zu rechts (RV) sowie das Verhältnis beider zueinander (LV/RV) bei Welpen im Alter bis zu 3 Tagen, bis zu 10 Tagen und 10 Wochen alten Tieren. Für den Quotienten LV/RV wird in den verschiedenen Altersgruppen der Mittelwert und Medianwert angegeben.

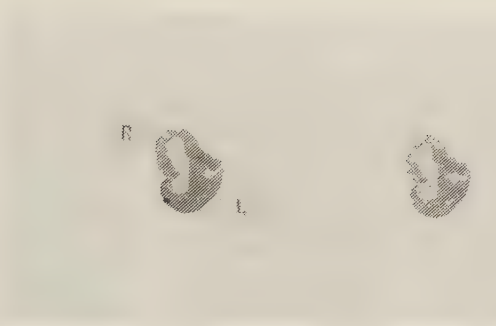


Abb. 18: Querschnitt durch das Herz eines Katzenembryos im Maßstab 1:4. Rechte und linke Kammerwand sind nahezu gleich stark

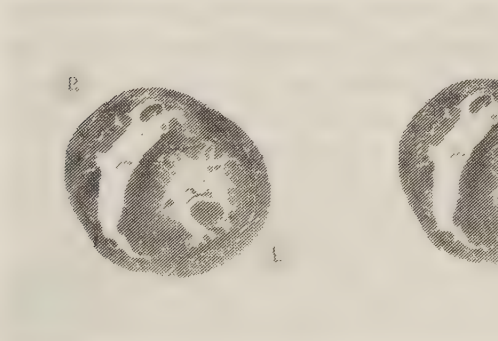


Abb. 19: Querschnitt durch das Herz einer neugeborenen Katze im Maßstab 1: 4. Das Wandstärkenverhältnis hat sich gegenüber dem Katzenembryo nicht wesentlich verändert.

Abb. 20: Querschnitt durch das Herz einer 12 Tage alten Katze im Maßstab 1:4. Die Wand des linken Ventrikels ist deutlich stärker als die Wand des rechten Ventrikels.

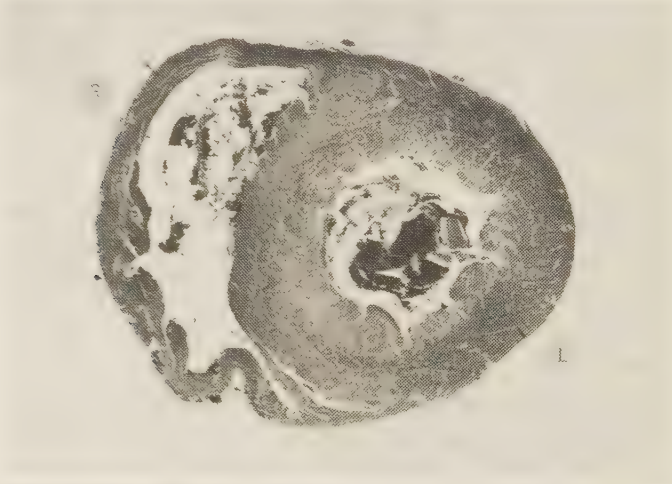


Abb. 21: Querschnitt durch das Herz einer erwachsenen Katze im Maßstab 1:4. Die Muskelmasse des linken Ventrikels dominiert eindeutig.

5 Diskussion

5,1 Elektrokardiographische Untersuchungen

Aufgabe dieser Arbeit war, die elektrokardiographische Entwicklung bei Katzenwelpen zwischen dem 1. und dem 70. Lebenstag zu erfassen. Dabei sollten "elektrokardiographische Normwerte" für Katzen dieser Altersgruppe aufgestellt werden. Neben der Bestimmung der Schlagzahlen, der Intervalle und der Amplituden zur Vektorkonstruktion sollten die wachstumsbedingten Änderungen im QRS-Komplex während dieser Lebensphase beschrieben werden.
Die Kenntnis dieser EKG-Daten ist sowohl für die klinische Untersuchung von Katzenwelpen und Jungkatzen als auch für die experimentelle Arbeit mit Katzen dieser Altersgruppe von grundlegender Bedeutung.

5,1,1 Schlagfrequenz

Um eine mittlere Herzschlagfrequenz zu ermitteln und um spätere Fehler bei der Auswertung zu vermeiden, haben wir uns bemüht, die Untersuchungsbedingungen zu standardisieren und die Tiere von äußeren Einflüssen abzuschirmen.
Der bei Hunden beobachtete Gewöhnungseffekt nach der 6. Lebenswoche (Trautvetter, 1972) konnte bei Katzen nur bedingt beobachtet werden. Obwohl durch Pflege und Füttern an die Untersuchungsperson gewöhnt, wurden sie doch jedesmal durch das Anlegen der Elektroden irritiert und beruhigten sich häufig erst nach einigen Minuten. Nur in den ersten 6 Lebenstagen gelang es, die Tiere nach Anlegen der Elektroden durch Zudecken und Benutzung einer Wärmelampe zum Schlafen zu bringen.
Die ermittelten Herzschlagzahlen pro Minute liegen im Mittel höher als die Werte, die von anderen Autoren (z. B. Beglinger, Heller, 1977; Christoph, 1963) für die erwachsene Katze beschrieben werden.

Einige Autoren geben jedoch als Ruhewerte der erwachsenen Katze Werte zwischen 92 - 300 Schlägen pro Minute an (Planta und Rothlin 1957). Jedoch liegen die Maximalwerte dieser Untersucher mit 250 - 300 Schlägen pro Minute im Bereich unserer Ergebnisse. Diese hohen Herzschlagzahlen sind auf die leichte Irritierbarkeit und ausgeprägte Erregung bei Katzen durch die Untersuchung zurückzuführen.
Da unsere Minimalwerte erheblich über denen der oben genannten Autoren liegen, kann man vermuten, daß der erregungsbedingte Einfluß auf die Herzschlagzahlen bei erwachsenen Katzen wesentlich größer ist. Bei den Katzenwelpen könnte man dies auf die höhere Grundfrequenz und auf die geringer entwickelten Abwehrreaktionen gegenüber äußeren Reizen und Streßsituationen zurückführen.
Katzen, die ich selbst großgezogen habe und die sonst sehr zutraulich waren, reagierten bei den Untersuchungen heftiger als Tiere, mit denen ich nur während der EKG-Aufzeichnungen Kontakt hatte. Dies mag unter anderem die Ergebnisse bei der Ermittlung der mittleren Herzschlagfrequenz erklären.
Eine kontinuierliche Frequenzabnahme mit zunehmendem Lebensalter wie bei Hundewelpen konnte nicht festgestellt werden.
Auffällig ist die Höhe der Ausschläge während der ersten Lebenstage. Im Laufe des Lebens nehmen sie dann ab, um sich bei einigen Tieren am 70. Lebenstag der bei der erwachsenen Katze typischen "Niedervoltage" zu nähern (Vergleiche Abbildung 2).

5,1.2 Intervalle

Da die Herzschlagzahlen während der Untersuchung keinen deutlichen Unterschied zeigen, weist auch die frequenzabhängige PQ-Zeit kaum Veränderungen auf.
Bei der kurzen QRS-Zeit fällt die Frequenzänderung noch weniger ins Gewicht. Da in den meisten Elektrokardiogrammen kein T auswertbar war und damit die Zahl der meßbaren QT-Zeiten sehr klein war, wurde von der Berech-

nung der Mittelwerte für QT aus statistischen Gründen Abstand genommen.
Der Einfluß der langsameren Frequenz auf die PQ-Zeit, kurz nach dem Kaiserschnitt ermittelt, und der Einfluß der höheren Schlagzahlen auf die PQ-Zeit in den folgenden Wochen ist kaum erkennbar (Vergleiche Tab. 1 u. 3). Auch bei erwachsenen Katzen treten erst bei deutlichen Änderungen der Schlagfrequenz Veränderungen der PQ-Zeit auf. So stellte Callsen (1983) eine Zunahme der PQ-Zeit um 0,007 Sekunden fest, wenn die mittlere Schlagfrequenz von 188 auf 254 Schläge pro Minute anstieg.

5,1,3 Ableittechnik

Gompf und Tilley (1979) empfehlen die Brust-Bauchlage bei unsedierten Katzen, da sie von Katzen leichter toleriert wird. Wir haben die rechte Seitenlage bevorzugt, da ein standardisiertes Registrieren der Elektrokardiogramme in Brust-Bauchlage ohne Hilfsperson bei jungen Katzen technisch schwierig ist. In rechter Seitenlage konnten die Tiere besser fixiert werden und die Lage exakter reproduziert werden. Zur Vermeidung von Abwehrreaktionen und willkürlicher Änderung der Extremitätenlage mußten bei älteren Tieren gelegentlich die Vorder- und Hinterextremitäten mit Klebeband fixiert werden.
Als Elektroden wurden Krokodilklemmen benutzt, die fest auf Bananenstecker gesteckt wurden. Die Klemmen wurden mit Alkohol und Elektrodengel befeuchtet. Diese Kombination erwies sich besonders bei langhaarigen Katzen für stabilere Registrierbedingungen als vorteilhaft.
Nadelelektroden, die subcutan eingestochen werden, wie sie z. B. Sasum (1973) empfiehlt, werden von unsedierten Katzen kaum toleriert.
Von den 40 untersuchten Katzen konnte zu keinem Zeitpunkt ein pathologischer Auskultationsbefund erhoben werden.

5,1,4 vektorielle Deutung

Die für den Menschen und verschiedene Tierarten beschriebene Rechtshypertrophie zum Zeitpunkt der Geburt

findet auch bei der Katze ihren Ausdruck in der Konfiguration eines vorwiegend negativen Kammerkomplexes in den Ableitungen I, II, III und aVF. Während man jedoch beim gesunden Hund schon in der 4. Lebenswoche hauptsächlich links orientierte Vektoren findet (Trautvetter 1972, Trautvetter et al. 1981), sieht man bei der Katze erst ab der 6. Woche vorwiegend links orientierte Vektoren.
Die vektorielle Auswertung der Elektrokardiogramme ermöglicht die Vorstellung von Größe und Richtung der einzelnen Vektoren in der postnatalen Lebensphase. Während sich die Richtung der Vektoren im EKG der Katze kontinuierlich ändert, läßt sich mit zunehmendem Alter keine Zunahme der Vektorgröße feststellen.
In unseren Untersuchungen an europäischen Kurzhaarkatzen ergaben sich klinisch keine Hinweise für angeborene Herzfehler. Mit der Zunahme der Rassekatzenzucht ist ähnlich wie beim Hund mit einer Zunahme von kongenitalen Herzanomalien zu rechnen. Diese Annahme wird durch die klinische Praxis bestätigt (Trautvetter 1980). Der Grad der Rechtsorientierung (" der Negativität") des QRS-Komplexes in diesem Lebensalter sowie die gleichzeitig bestehende und sich allmählich ändernde physiologische Rechtshypertrophie ist daher für die Erkennung kongenitaler Vitien von besonderem Interesse.

5,2 morphologische Untersuchungen

Die Veränderung des Hauptkammer-Vektors im EKG folgt der Entwicklung der Wandstärken des linken und rechten Ventrikels. Die Änderung des Wandstärkenverhältnisses hängt mit dem schnelleren Wachstum des linken Ventrikels, nicht mit einer Atrophie der rechten Kammerwand zusammen (Yuang und Rudolph, 1964).
Die von uns ermittelten Werte differieren etwas von den Werten, die Deegen et al. (1976) beim Saugfohlen

festgestellt haben. Sie beschreiben zum Geburtstermin ein Verhältnis von 1 : 1, während beim erwachsenen Pferd ein Verhältnis von 1 : 2 gemessen wird.
Die Werte für das Wandstärkenverhältnis bei der Katze sind mit 0,9 : 1,25 bei Neugeborenen denen des Pferdes ziemlich ähnlich. Bei älteren Katzen verschiebt sich der Verhältniswert stärker zu Gunsten der linken Kammer (0,8 : 2,5). Auch die von Williams et al. (1979) ermittelten Werte an 50 - 60 Tage alten Hundeföten liegen im Bereich von 1 : 1 bis 1 : 1,5. Obwohl wegen der nicht einheitlichen Meßtechniken und Meßorte durchaus Einwände gegen den Vergleich morphologischer Untersuchungen erhoben werden können, sind die an verschiedenen Tierarten gemessenen Verhältniswerte nur graduell voneinander verschieden.

6 Zusammenfassung

An 40 Katzenwelpen wurde die Entwicklung des Elektrokardiogramms zwischen dem ersten und dem siebzigsten Lebenstag erfaßt. Bestimmt wurden die Schlagzahlen, die Intervalle und die Amplituden der Kammerkomplexe aus den Ableitungen I, aVF und V_{10} zur Vektorkonstruktion. Eine kontinuierliche Frequenzabnahme mit zunehmendem Lebensalter wie bei Hundewelpen konnte nicht festgestellt werden. Daher weist auch die frequenzabhängige PQ-Zeit kaum Veränderungen auf.
Die auffällige Höhe der Ausschläge während der ersten Lebenstage nimmt im Laufe der nächsten Lebenswochen ab, einige Tiere weisen am 70. Lebenstag die für die Katze typische Niedervoltage auf. Zum Zeitpunkt der Geburt findet man auch bei der Katze eine physiologische Rechtshypertrophie. Erst ab der 6. Woche sieht man vorwiegend links orientierte Vektoren. Für den 1., den 21., 42. und 70. Lebenstag wurden aus den QRS-Komplexen die Vektoren in der Frontalebene, der Sagittalebene und der Transversalebene gebildet. Der frontale Vektor wandert von rechts kranial über + 90° nach links kaudal. Der Vektor in der Transversalebene wandert von rechts dorsal bzw. ventral über + 90° nach überwiegend links ventral. Der Sagittalvektor wandert von dorsokranial über + 90° nach ventrokaudal.
Die Entwicklung des Wandstärkenverhältnisses linker zu rechter Kammer wurde bei 35 in Formaldehyd fixierten Herzen gemessen. Von einem Muskelmassen-Verhältnis von etwa 1 : 1 (0,9 : 1,25) bis zu 3 Tagen post partum steigt diese Verhältniszahl auf etwa 1 : 3 (0,8 : 2,5) bei Katzen, die 10 Wochen und älter sind.

7 Summary

In 40 newborn cats the evolution of the electrocardiogram from birth up to the 70th day of life was studied. The heart rates, intervals and amplitudes of the QRS-complexes I, aVF and V_{10} for vector construction were determined. A continual decrease in heart rates as known in growing puppies were not determined in young cats. Therefore PQ-interval showed no significant alterations. Significantly higher amplitudes during the first days of life changed to the typical low voltage of the adult cat at the 70th day of life. After birth the modal QRS-Vector was constructed in the frontal, in the sagittal and in the transverse plane for the 1., the 21., 42. and 70. day of life. In the frontal plane the modal axis moves from right cranial through + 90° to the left caudal quadrant. In the transverse plane the modal axis moves from right through + 90° to left ventral quadrant, in the sagittal plane from dorsocaudal through + 90° to mostly left and caudally.
The growth evolution of right and left ventricular walls was measured for 35, in formalin solution fixed hearts. Up to an age of 3 days the relation between right and left ventricular mass was close to 1 : 1 (0,9 : 1,25). At ten weeks and older this relation changed to 1 : 3 (0,8 : 2,5).

8 Literaturverzeichnis

Averill, K. H. (1963)
Wagner, W. W.
Vogel, J. H. W.
Correlation of right ventricular pressure with right ventricular weight
Amer. Heart J. 66, 632 - 635

Beglinger, R. (1977 a)
Heller, A.
Denac, M.
Anaesthesie der Katze mit Ketamin-Acepromazin. Wirkung auf Atmung und Kreislauf
Schweiz. Arch. Tierheilk. 119, 347 - 353

Beglinger, R. (1977 b)
Heller, A.
Lakatos, L.
Elektrokardiogramme, Herzschlagfrequenz und Blutdruck der Hauskatze (Felis catus)
Zbl. Vet. med. A, 24, 252 - 257

Bohn, F. K. (1977)
Eine klinische Anaesthesie- und EKG-Studie bei Katzen
Prakt. Tierarzt 58, 504 - 509

Bohn, F. K. (1979)
Die Kontrolle der Herzaktionen bei anaesthesierten Hunden und Katzen
Prakt. Tierarzt 60, 120 - 125

Brummer, H. (1966)
Tierpsychologisch-klinische Beobachtungen bei der Behandlung von Katzen
Kleintierpraxis 11, 77 - 90

Callsen, A.-D. (1983)
Elektrokardiographische Untersuchungen an wachen und anaesthesierten Katzen mit einem System von zehn Standardableitungen
Vet. med. Diss. FU Berlin

Cherkovich, G. M. (1967)
Ruttkay-Nedecky, I.
Ontogenetic changes in the QRS of baboon vectorcardiogram
Physiologia bohemoslav. 16, 264-271

Christoph, H. J. (1963) Klinik der Katzenkrankheiten
Blutkreislauforgane
Fischer Verlag, Jena

Darke, P. (1974) The interpretation of
electrocardiograms in
small animals
Small Animal Practice 15, 537-551

Deegen, E. (1976) EKG-Befunde beim Saugfohlen:
Holsten, H. Änderung des QRS-Komplexes
Matthiesen, T. innerhalb des ersten Lebens-
jahres
Pferdekrankheiten, Tagung der
DVG in München, 124 - 147
Schlütersche Verlagsanstalt,
Hannover

Deegen, E. (1974) EKG-Zeitwerte beim klinisch
Reinhard, H.-J. gesunden Shetland-Pony
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 81, 257-262

Ettinger, S. (1970) Canine Cardiology
Suter, P. F. Saunders, Philadelphia

Fowler, R. S. (1966) The vectorcardiogram in
the first year of life, 297 - 306
in: The Heart and Circulation
in the Newborn and Infant
by D. E. Cassels
Grune and Stratton, New York

Gauglitz, J. (1978) Über die Lage des QRS-Vektors
im EKG des Ferkels und des
Läuferschweins
Vet. med. Diss. Berlin

Glaus, A. (1958) Systematische und statistische
Untersuchungen am Schweineherzen
Vet. med. Diss., Zürich

Gompf, R. E. (1979)
Tilley, L. P.
Comparison of lateral and sternal recumbent positions for electrocardiography of the cat.
Am. J. Vet. Res. 40, 1483 - 1486

Gonin , Pierre (1962)
Über die Lage der elektrischen Herzachse beim Hund
Vet. med. Diss. Bern

Hahn, A. E. (1977)
Hamlin, R. L.
Patterson, D. F.
Standards for Canine electrocardiography.
A Proposal to the Academy of Veterinary Cardiology

Hamlin, R. L. (1963)
Smetzer, D. L.
Smith, C. R.
The electrocardiogram, phonocardiogram and derived ventricular activation process of domestic cat.
Am. J. Vet. Res. 24, 792 - 802

Hamlin, R. L. (1967)
Olsen, I.
Smith, C. R.
Boggs, S.
Clinical relevancy of heart rate in dog.
J.A.V.M.A. 151, 60 - 63

Harris, S. G. (1975)
Ogburn, P. N.
The cardiovascular system in: Feline Medicine and Surgery
American Veterinary Publication, Inc.
St. Barbara, Ca.

Hill, J. D. (1968 a)
The significance of foreleg positions in the interpretation of electrocardiograms from research animals
Amer. Heart J. 75, 518 - 527

Hill, J. D. (1968 b) — The electrocardiogram in Dogs with Standardized Body and Limb Positions. Journal Electrocardiology 1, 175 - 182

Hort, W. (1955) — Morphologische Untersuchungen an Herzen vor, während und nach der postnatalen Kreislaufumschaltung. Virchows Arch. 326, 458 - 484

Kronberger, H. (1968) — Möglichkeiten der elektrokardiographischen Diagnostik in der Veterinärmedizin. Arch.exper.Vet.med. 23, 291 - 293

Kühn, D. (1968) — Die Vektoren im EKG des gesunden Hundes. Vet. med. Diss., Berlin

Lannek, N. (1949) — A Clinical and Experimental Study of the EKG in Dogs. Vet. med. Diss., Stockholm

Lautenschläger, O. (1928) — Grundlage der Aufnahmetechnik des EKG vom Pferd und Rind und ihre Ergebnisse. Vet. med. Diss., Gießen

Liu, S.-K. (1970)
Tashjian, R. J.
Patnaik, A. K. — Kongestive Herzfehler bei der Katze. J.A.V.M.A. 156, 1319-1330

Meier, H. W. (1974)
Treichler, J.
Schulze, H. — Das Elektrokardiogramm des Rehes. Kleintierpraxis 19, 258 - 262

Miller, U. (1977)
Beitrag zum physiologischen Elektrokardiogramm der Katze mit besonderer Berücksichtigung der frequenzbedingten Veränderungen
Wien. tierärztl. Mschr. 64, 96 - 97

Nemec, J. (1971)
Kriterien des Elektrokardiogramms beim gesunden Hund
Arch. exper. vet. med. 25, 943 - 954

Nörr, J. (1922)
Über Herzstromkurvenaufnahme an Haustieren.
Arch. wiss. prakt. Tierheilkd. 48, 85-11o

Planta, P. (1957)
Rothlin, E.
Die QT-Dauer der Katze
Acta physiolog. pharmacol. Neederlandica 6, 659 - 661

Rippa, S. (1969)
Hulin, J.
Die Ursache der Formänderung der EKG-Kurve beim Hund bei verschiedener Lagerung der vorderen Extremitäten.
Zschr. Kreisl.forsch. 58, 535 - 542

Robertson, B. T. (1976)
Ewell, W. N.
Normal values for the Electrocardiogram in the cat.
Feline Practice 6, 20 - 22

Sasum, H. (1973)
Das EKG in der Praxis
Kleintierpraxis 18, 231 - 238

Tilley, L. P. (1978)
Erkrankungen des Kreislaufsystems
in: Katzenkrankheiten
Kraft und Dürr,
Verlag M. H. Schaper, Hannover

Trautvetter, E. (1972) Untersuchungen zur EKG-Entwicklung an gesunden Welpen und Welpen mit angeborenen Pulmonalstenosen Vet. med. Habilitation, FU Berlin

Trautvetter, E. (1980) Angeborene Herzfehler bei Katzen Vortrag Berl. Tierärztl. Gesellsch. Abstr. in BMTW 93, 179

Trautvetter, E. (1981)
Detweiler, D. K.
Patterson, D. F. Evolution of the Electrocardiogram in Young Dogs During the First 12 weeks of Life J. Electrocardiology 14, 267 - 274

Unshelm, J. (1974)
Thielscher, H.-H.
Haring, F.
Hohns, H.
Pfleiderer Elektrokardiographische Untersuchungen bei Schafen unter Berücksichtigung der Rasse, des Lebensalters und anderer Einflußfaktoren Zbl. Vet. Med. A. 21, 479 - 491

Walsh, S. Zoe (1963) The Electrocardiogram during the first Week of life Brit. Heart J. 25, 784 - 794

Werner, J. (1969)
v. Recum, A.
Trautvetter, E.
Sklaschus, H. Über den Ruherhythmus des Herzens beim Hund Zschr. Kreisl.forsch. 6, 58 593 - 600

Werner, J. (1972 a)
Trautvetter, E.
v. Recum, A.
Poirson, J. P.
Sklaschus, H. Über das normale und das veränderte EKG des Hundes. I Ableittechnik Rhythmus und Formkriterien sowie Zeiten. Wien. Tierärztl. M. 2, 49 - 54

Werner, J. (1972 b)
Trautvetter, E.
v. Recum, A.
Kühn, D.
Sklaschus, H. Über das normale und das veränderte EKG des Hundes. II Potentialgrößen und Vektoren Wien. Tierärztl. M. 3, 92 - 99

Williams, B. (1979)
Powers, J. D.
Hamlin, R. L.
Ventricular Wall Thickness in the Fetal Dog.
Am. J. Vet. Res. 40, 696 - 697

Yuang, S. (1964)
Rudolph, M.
Relationship between right ventricular pressure and right ventricular weight
Circulation suppl. 30, 180

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. Trautvetter ganz herzlich für die Überlassung des Themas und für die mir stets freundlich gewährte Unterstützung danken.

Allen Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere danke ich für ihre Hilfsbereitschaft.

Beim Institut für Veterinär-Pathologie der FU Berlin möchte ich mich für das Überlassen von Katzenherzen zur morphologischen Untersuchung bedanken.

Auch dem Institut für Veterinär-Histologie der FU möchte ich an dieser Stelle danken für die angefertigten histologischen Schnitte von Katzenherzen und die Möglichkeit, an institutseigenen Katzen elektrokardiographische Untersuchungen durchzuführen.

Lebenslauf

Am 26. Juni 1950 wurde ich, Birgit-Evelyn Pagel geb. Scholz, als Tochter des damaligen Oberingenieurs Rudolf Scholz und seiner Ehefrau Hildegard geb. Gehle in Berlin geboren.
Von 1957 bis 1963 besuchte ich die Grundschule, dann besuchte ich die Wald-Oberschule in Berlin und legte im Januar 1970 die Reifeprüfung ab.
Anschließend absolvierte ich ein zweijähriges Apothekenpraktikum und machte im März 1972 mein Vorexamen in Pharmazie.
Mit Beginn des Sommersemesters 1972 nahm ich das Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin auf, welches ich im September 1977 mit dem Bestehen der tierärztlichen Prüfung abschloß.
Vom Mai 1978 bis September 1981 war ich als wissenschaftliche Assistentin an der Klinik und Poliklinik für kleine Haustiere an der Freien Universität Berlin tätig.
Ich bin verheiratet und habe drei Kinder. Mein Mann ist ebenfalls Tierarzt. Seit zwei Jahren führen wir eine Kleintierpraxis in Schleswig-Holstein.